

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra výrobních strojů a konstruování**

**Konstrukční návrh manipulačního vozíku se zvýšenou  
nosností**

**Design of Handling Truck with Increased Load  
Capacity**

Student:

Jaroslav Příbyl

Vedoucí bakalářské práce:

Dr. Ing. Jaroslav Melecký

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jaroslav Příbyl**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení  
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení  
Téma: **Konstrukční návrh manipulačního vozíku se zvýšenou nosností**  
**Design of Handling Truck with Increased Load Capacity**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Pro dílenské použití zpracujte konstrukční návrh manipulačního vozíku se zvýšenou nosností s možností pohybu na elektrohaie (úzkorozchodná kolejová trať). Při návrhu preferujte dodržení průjezdových profilů.

V rámci řešení bakalářské práce dále zpracujte:

- analýzu a rešerši stávajícího stavu a konvenčně používaných řešení
- navrhnete variantní řešení a provedte konstrukční návrh vybrané varianty
- správnost návrhu ověřte kontrolními výpočty
- příslušnou výkresovou dokumentaci

Při řešení vezměte v úvahu následující technické parametry:

Maximální nosnost vozíku: 8 tun  
Rychlost pohybu vozíku (ruční manipulace): 1 m.s-1  
Rozměry vozíku v rozmezí: Délka 1500 - 1900 mm  
Šířka 1000 - 1150 mm  
Rozměry výrobku (aktuální typ): Šířka 1550 mm  
Výška 1440 mm  
Hloubka 1000 mm

Bližší specifikace nutných technických údajů a požadavků bude upřesněna v průběhu řešení bakalářské práce ve spolupráci s firmou Pars nova a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1.vyd. Praha, Ediční středisko ČVUT Praha, 1999. 119 s.  
SERENSEN, S. V., KOGAJEV, V. P., ŠNEJDEROVIČ, R.M. *Únosnost a pevnostní výpočty strojních součástí*. Praha, SNTL, 1967.  
LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.  
MYNÁŘ, V. A KOL. *Části strojů*. VŠB-TU Ostrava, 1978. 398 s.  
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Dr. Ing. Jaroslav Melecký**


Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem veškeré použité podklady a použitou literaturu.

V Ostravě

15. 5. 2016



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem, byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́jednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́jednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15. 5. 2016 .....

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jaroslav Příbyl

Žerotínova 185, Postřelmov

78969



Podpis studenta

## **Anotace bakalářské práce**

PŘIBYL, Jaroslav. *Konstrukční návrh manipulačního vozíku se zvýšenou nosností*. Ostrava, 2016, 60 s. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní. Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí práce Dr. Ing. Jaroslav Melecký.

V této bakalářské práci se budu zabývat návrhem manipulačního vozíku se zvýšenou nosností pro účely přepravování elektromotorů. Vozík bude sloužit k přepravě velkých trakčních elektromotorů na krátké vzdálenosti po kolejové osm metrů dlouhé dráze. Největší povolená nosnost bude 8000 kg. Úvod a rešerši bakalářské práce budu věnovat rozdělení vozíků určitých parametrů. Další kapitoly budou přinášet konstrukci vlastního řešení dle vlastních návrhů. Dále pevnostní kontrola bude provedena pomocí analýzy rámových konstrukcí a metodou konečných prvků. Součástí práce je v přílohách kompletní výkresová dokumentace dle výsledného řešení.

## **Annotation of bachelor thesis**

PŘIBYL, Jaroslav. *Design of Handling Truck with Increased Load Capacity*. Ostrava, 2016, 60 p. Bachelor Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanics Engineering. Department of Production Machines and Design. Thesis head Dr. Ing. Jaroslav Melecký.

This bachelor's thesis is concerned with a plan of a handling trolley with heighten load bearing capacity for the use in electrical engine transportation. The trolley is going to be used in transportation of big electronic traction engines on a 8 meters long rail. The highest allowed load bearing capacity will be 8000 kg. Introduction and research of this bachelor's thesis will be concerned with the division of trolleys according to certain parameters. Following chapters will describe the construction of the trolley based on the personal design. Furthermore, the strength inspection will be done through the frame construction analysis and by the final component method. Thesis also provides complete design documentation according to the final solution in the appendix.

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
1.1. SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU .....	11
1.2. CÍL PRÁCE .....	12
1.3. SPECIFIKACE POŽADAVKŮ .....	12
<b>2. REŠERŠE .....</b>	<b>14</b>
2.1. RUČNÍ KOLEJOVÝ VOZÍK 500 KG .....	14
2.2. KOLEJOVÉ VOZÍKY KPX .....	15
2.3. DŮLNÍ VOZY .....	16
2.3.1. <i>Důlní vozy typu JDV</i> .....	16
2.3.2. <i>Důlní vozy samovýsypného typu VSV</i> .....	17
2.4. VOZY TYPU PKTBA-MGR .....	18
<b>3. ZHODNOCENÍ REŠERŠE .....</b>	<b>19</b>
<b>4. NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ .....</b>	<b>20</b>
4.1. KRITÉRIA HODNOCENÍ .....	20
4.2. NÁHLED HRUBÉ STAVEBNÍ STRUKTURY .....	20
4.3. VARIANTA ŘEŠENÍ 1 .....	21
4.4. VARIANTA ŘEŠENÍ 2 .....	22
4.5. VARIANTA ŘEŠENÍ 3 .....	23
4.6. UPŘESNĚNÍ POŽADAVKŮ .....	24
<b>5. KOMPLETNÍ KONSTRUKCE VOZÍKU .....</b>	<b>25</b>
5.1. KONSTRUKCE RÁMU .....	27
5.2. SVAŘENEC OTOČNÉ KONZOLE .....	28
5.3. MATERIÁL KONSTRUKCE .....	28
5.4. VLASTNOSTI POUŽITÉHO MATERIÁLU .....	29
<b>6. PEVNOSTNÍ KONTROLA VOZÍKU .....</b>	<b>31</b>
6.1. URČENÍ MAXIMÁLNÍ DOVOLENÉ HODNOTY .....	31
<b>7. ANALÝZA RÁMOVÝCH KONSTRUKCÍ .....</b>	<b>32</b>
7.1. VAZBY A ROZMÍSTĚNÍ SIL .....	32
7.2. VÝSLEDKY RÁMOVÉ ANALÝZY .....	33
7.3. NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ .....	33

7.3.1. Zobrazení momentů.....	34
7.4. ZÁKLADNÍ PEVNOSTNÍ VÝPOČET SVAROVÉHO SPOJE .....	35
7.4.1. Podle způsobu zatížení pro jednotlivé typy svarů platí.....	36
<b>8. PEVNOSTNÍ ANALÝZA NÁPRAVY.....</b>	<b>38</b>
8.1. VOLBA MATERIÁLŮ A VAZEB .....	38
8.2. VOLBA DOTYKŮ, ZATÍŽENÍ.....	38
8.3. POHLED SÍŤE NÁPRAVY S UMÍSTĚNÍM ZATÍŽENÍ .....	39
8.4. VÝSLEDKY PEVNOSTNÍ ANALÝZY HŘÍDELE .....	39
8.4.1. Výsledky posunutí.....	39
8.4.2. Výsledky napěťové.....	40
8.4.3. Výsledek získané bezpečnosti .....	40
<b>9. KONTROLNÍ VÝPOČET HŘÍDELE.....</b>	<b>41</b>
9.1. ZÍSKANÉ VÝSLEDKY .....	42
<b>10. ZÁVĚR.....</b>	<b>43</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:.....</b>	<b>45</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH: .....</b>	<b>46</b>



## Seznam použitých značek a symbolů

Symbol veličiny	Veličina	Jednotka
A	Tažnost	[%]
a	Velikost koutového svaru	[mm]
AL	Hliník	[%]
A <sub>MIN</sub>	Minimální tažnost	[%]
C	Uhlík	[%]
c <sub>II</sub>	Součinitel snížení napětí míjiví	[-]
c <sub>III</sub>	Součinitel snížení napětí dynamický	[-]
Cr	Chrom	[%]
d	Průměr materiálu	[mm]
F <sub>L</sub>	Napětí ve svaru od síly F	N
g	Gravitační zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
k	Bezpečnost	[-]
k <sub>S</sub>	Statická bezpečnost	[-]
k <sub>Sdov</sub>	Dovolená statická bezpečnost	[-]
l	Délka svaru	[mm]
l'	Redukovaná délka svaru	[mm]
Mn	Mangan	[%]
Mo	Ohybový moment	[N·mm]
Ni	Nikl	[%]
P	Fosfor	[%]
PLC	Programovatelný logický automat	[-]
Q	Tíha	[N]
R <sub>a</sub>	Reakce v bodě A	[MPa]
R <sub>b</sub>	Reakce v bodě B	[MPa]
R <sub>e</sub>	Mez kluzu	[MPa]
R <sub>eh</sub>	Minimální mez kluzu	[MPa]
R <sub>emin</sub>	Minimální mez kluzu	[MPa]
R <sub>m</sub>	Pevnost v tahu	[MPa]
S	Plocha svaru	[mm <sup>2</sup> ]
s	Šířka svařovaného materiálu	[mm]

Si	Křemík	[%]
t	Šířka materiálu	[mm]
U	Profil materiálu	[mm]
W <sub>o</sub>	Modul průřezu svaru	[mm <sup>3</sup> ]
Z <sub>MIN</sub>	Minimální pevnost	[%]
$\alpha_L$	Převodní součinitel	[-]
$\alpha_{II}$	Převodní součinitel	[-]
$\sigma_{Dt}$	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
$\sigma_{DTH}$	Dovolené napětí hřídele	[MPa]
$\sigma_{DVS}$	Dovolené napětí sváru	[MPa]
$\sigma_{Hmax}$	Maximální napětí na hřídeli	[MPa]
$\sigma_{max}$	Maximální napětí	[MPa]
$\sigma_{red}$	Redukované napětí	[MPa]
$\sigma_t$	Tahové napětí	[MPa]
$\tau$	Smykové napětí	[MPa]
$\tau_{DVS}$	Dovolené napětí svaru ve smyku	[MPa]
$\tau_{II}$	Smykové napětí od síly	[MPa]
$\tau_{red}$	Redukované napětí	[MPa]

# 1. Úvod

## 1.1. Seznámení s problematikou

Ve své práci se budu zaměřovat na konstrukční návrh a kontrolu kolejového vozíku pro firmu Pars Nova a.s.. Vozík má splňovat zvýšenou nosnost pro použití ve vnitřních prostorách firmy na elektro hale. Bude sloužit k převozu elektromotorů po malé kolejové dráze do prostoru určeného k nástřiku vrstvy ochranné barvy. Bude v budoucnosti také sloužit k přepravě větších a těžších motorů, za účely jejich opravy.

Zařízení dle firmy Pars Nova a.s. musí splňovat předem stanovené parametry, které jsou uvedeny níže v této kapitole. Vozík by měl být podobného konstrukčního řešení jako vozík dosud používaný na tomto pracovišti o nosnosti 5000 kg, u kterého chybí výkresová dokumentace.



Obrázek 1 - Nyní používaný vozík [Vlastní fotografie]

Dále v požadavcích firmy Pars Nova a.s. je, aby bylo zpracováno více druhů řešení podle stávajícího řešení - obrázek 1. Byly mi zadavatelem umožněny konstrukční úpravy řešení vozíku.

## 1.2.Cíl práce

Cílem práce je:

- provést rešerši v oblasti navrhovaného vozíku.
- vytvořit 3D model vozíku pomocí CAD/CAM systémů.
- provést kontrolní analýzu vozíku pomocí softwaru Inventor profesionál.
- vytvořit z 3D modelu 2D kompletní výkresovou dokumentaci.

## 1.3.Specifikace požadavků

*Tabulka 1- Specifikace požadavků*

Specifikace požadavků	Podmínka	Přání
<b>Funkce účinky a funkční parametry</b>	•	
▪ Pohyb po rovné dráze	•	
▪ Využití normalizovaných dílů a profilů.		•
▪ Otáčení motorů na ložné ploše vozíku	•	
▪ Lehce použitelný otočný pult	•	
▪ Dostatečná pevnost na zatížení	•	
▪ Rozpětí šířky 1500-1900 mm	•	
▪ Rozpětí délky 1000-1150 mm	•	
▪ Rozpětí výšky 400-600 mm	•	
▪ Šířka otočného pultu 1000mm	•	
<b>Provoz</b>		
▪ Pohyb vozíku tlačенý člověkem	•	
▪ Prostředí: nečisté	•	
▪ Četnost používání: velká	•	
▪ Požadovaná životnost: minimálně 5let	•	

▪ Údržba: minimální		•
<b>Ergonomie</b>		
▪ Bezpečná manipulace	•	
▪ Snadný posuv a zajištění		•
▪ Bezpečnost proti poranění	•	
<b>Povrch</b>		
▪ Odolný proti poškrábání		•
▪ Dobře čistitelný	•	
▪ Barva modrá		•
<b>Předpisy a normy</b>		
▪ Bez porušení patentových práv	•	
▪ Minimální náklady na provoz	•	

..

## 2. Rešerše

### 2.1. Ruční kolejový vozík 500 kg

Ruční kolejový vozík na obrázku 2 se používá k přepravě nářadí a potřebného materiálu po kolejích při provádění zásahových prací a činnosti převážně při požárech. Jedná se o lehký dopravní prostředek ovládaný lidskou silou, uzpůsobený pro jízdu po železničních kolejích s rozchodem kol 1435 mm.

#### Rozměry

▪ Délka	1340 mm
▪ Šířka	535 mm
▪ Průměr pojezdového kola	244 mm
▪ Hmotnost	90 kg
▪ Nosnost	500 kg
▪ Rozchod	435 mm



Obrázek 2-Náhled kolejového plošinného vozíku [10]

## 2.2.Kolejové vozíky KPX

KPX série továrních vozíků je typ pro manipulaci s materiálem, pomocí pohybu po kolejích. Jsou poháněny akumulátorem. Baterie je instalovaná pod nosnou plochou. Převážní zařízení umožňuje pohyb vřed, vzad, nastavit rychlost přes PLC a rychlostní panel.



Obrázek 3 – Pohledy vozíku [15]

Vozík má široký rozsah aplikací pro převoz nákladu výrobních strojů, plechů, ocelových rour a potrubí. Může být použitý v automatické mobilní montážní lince, pro vrátky k manipulaci po obchodě. Stroje uložené v oblasti kolejové dráhy mohou využít k přesunu nákladu (výrobků) do různých částí výrobní haly.

➤ Využití v oblastech průmyslu:

- stavba lodí
- hutní závod
- sklady
- ocelárna
- lomy
- důlní průmysl



## 2.3. Důlní vozy

### 2.3.1. Důlní vozy typu JDV

Důlní vozy typu JDV jsou sestaveny z normalizovaných dílů spojených svařováním. Skládají se z celkově svařené korby se zesíleným dnem, kde její vnitřní část je pokovena hliníkem pro zmenšení přilnavosti dopravovaných hornin. Vozík má podvozek, s dvojkolím s pevnou nápravou a otočnými koly na kuželíkových ložiscích.

Parametry vozíku:

▪ užitný objem vozů	0,45 – 1,8 m <sup>3</sup>
▪ hmotnost přepravovaného objemu	1250 – 2500 kg
▪ rozchod	450 – 900 mm
▪ rozvor	375 – 500 mm
▪ průměr kola	300 – 350 mm
▪ maximální povolená rychlost	18 km·h <sup>-1</sup>
▪ minimální poloměr oblouku tratě	7 m



Obrázek 4-Vůz typu JDV [17]

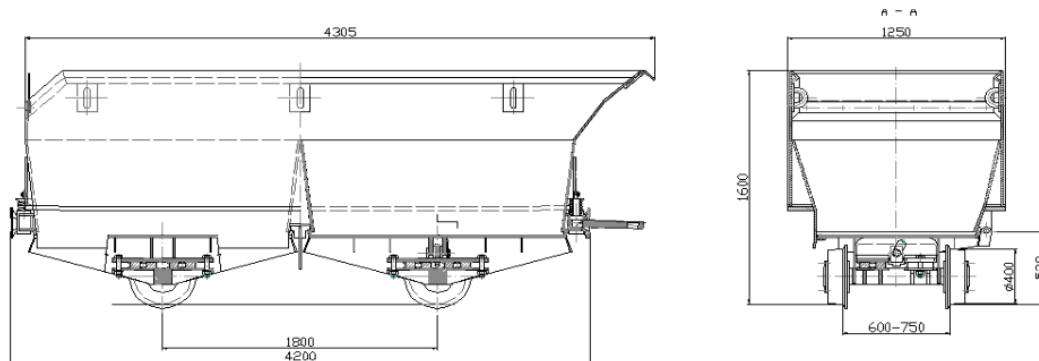


### 2.3.2. Důlní vozy samovýšpného typu VSV

Důlní vozy se skládají ze svařené korby se dvěma dny, která se odklápí včetně dvojkolí. Jsou odpruženy pomocí pryžových pružin. Jejich čela vozu jsou překryta proti rozpadu horniny v době plnění.

Parametry vozíku:

▪ užitný objem vozů	3,3 – 5,3 m <sup>3</sup>
▪ hmotnost přepravovaného objemu	4000 – 6400 kg
▪ rozchod	600 – 900 mm
▪ rozvor	1300 – 1800 mm
▪ průměr kola	350 mm
▪ maximální povolená rychlost	18 km·h <sup>-1</sup>
▪ minimální poloměr oblouku tratě	20 – 27 m



Obrázek 5-Vůz typu VSV sestava [17]

## 2.4.Vozy typu PKTBA-MGR

Při vyhledávání zařízení podobného řešení na odborných stránkách zahraničních serverů jsem našel a použil pro řešení výrobek firmy PKTBA. Použil jsem je v souvislosti s podobnostmi konstrukce na obrázku 6 a 7. Zařízení se používá pro přepravu nákladů po různých typech vodorovných, přímočarých a křivočarých drahách železniční tratě. Jsou využívány v provozech s jeřáby. Mají ale možnost být použity i mimo pracovní zóny jeřábu.



Obrázek 6-PKTBA-MGR provedení 1. [9]

Celkové parametry:

- 1) Kapacita, tun (5, 15, 35, 50) (11023, 33069, 77162, 110231 lbs).
- 2) Celkové rozměry platformy výška - 600 mm

Tabulka 2- Parametry vozíků

Délka	3000	4000	5000	6000
Šířka				
1900	1	2	3	4
2100	5	6	7	8



Obrázek 7-PKTBA-MGR provedení 2. [9]

### 3. Zhodnocení řešerše

Nejprve jsem hledal možné řešení v koupi plošinových vozíků. Samozřejmě jsem bral zřetel na nosnost. Poté jsem vybíral vozíky k následné úpravě, aby splňovaly požadované vlastnosti dané firmou Pars Nova a.s.. Dále jsem se zaměřoval na vozíky spíše na zařízení důlní, určené pro úzko kolejovou trať důlních pracovišť, protože parametry rozchodu kolejí vyhovovaly. Poté jsem ještě navštívil nabídky na stránkách sociálních sítí, zda nelze koupit vozíky v zahraničí.

Po dokončení vyhledávání, jsem se rozhodl vytvořit vlastní návrh řešení. Inspiroval jsem se stávajícím vozíkem, který je ve firmě Pars Nova a.s. používán dosud, ale jeho parametry nevyhovovaly požadované nosnosti. Rozhodl jsem se pro tuto variantu, jelikož výrobky, kterými jsem se zabýval v řešerši, nesplňovaly moje požadavky a tím ani požadavky zadavatele. Šlo zde o problém nízké nosnosti vozíku nebo vysoké ceny přepravného ze zahraničí.

Ve vlastím návrhu bych chtěl využít normalizovaných dílců a profilů materiálu, dále bych chtěl vybrat z různých druhů uložení hřídele a také možností několika variant otáčivé části vozíku.

## 4. Návrh vlastního řešení

Vlastní návrh řešení respektuje požadavky kladené mnou a zadavatelem. Zejména jsem se pokusil vylepšit stávající řešení vozíku normalizovanými díly. Byly voleny takové hutní polotovary, které se běžně využívají při vlastní výrobě v Pars Nova a.s.. Dále jsem řešil možnosti uchycení hřídele a způsoby otáčení rotačního segmentu. Vytvořím několik variant řešení, které následně porovnám a vyberu nejlepší variantu.

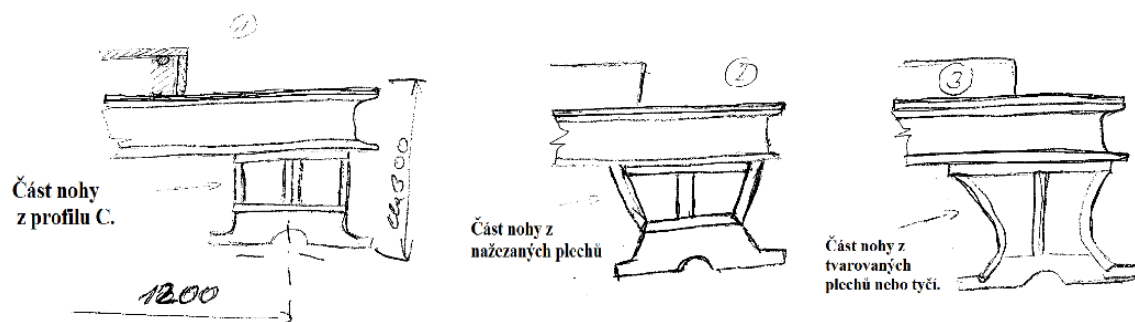
### 4.1. Kritéria hodnocení

Pro výběr správného návrhu jsem si stanovil stupnici hodnocení 1-5 (školní typ). Celkové hodnocení je zaokrouhleno na celá čísla.

Tabulka 3-Kritéria hodnocení

Dobrý posuv a nastavení	1-5
Snadná manipulace	1-5
Životnost	1-5
Cena	1-5

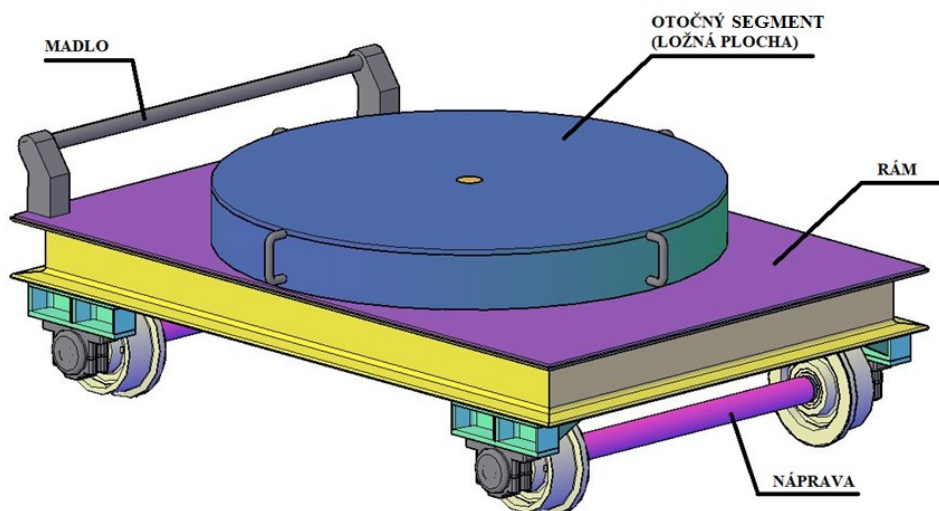
### 4.2. Náhled hrubé stavební struktury



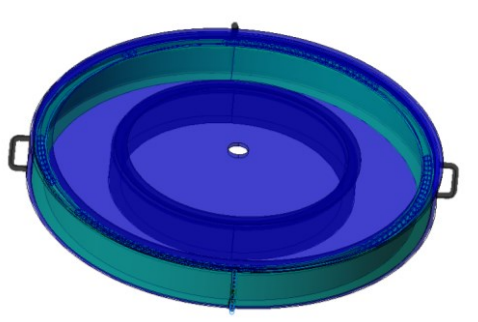
Obrázek 8 – Hrubá stavební struktura

### 4.3.Varianta řešení 1

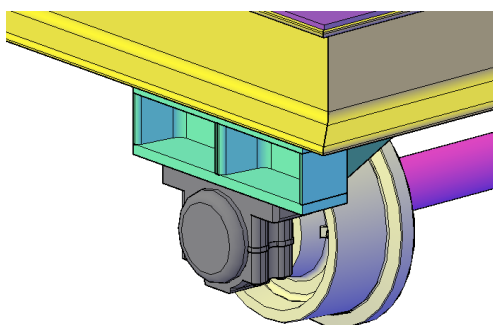
V této variantě jsem se zaměřil na konstrukci vozíku, na kterou jsem připevnil madla na rám a rotační část. Vnitřní variantu otáčení rotačního segmentu jsem zvolil dvakrát za sebou položenou ložiskovou dráhou se 148 ložiskovými kuličkami. Horní desku jsem vyztužil ocelovým kruhem nad ložiskovými kuličkami proti otlacení.



Obrázek 9-Varianta vozíku 1.[vlastní koncepce]



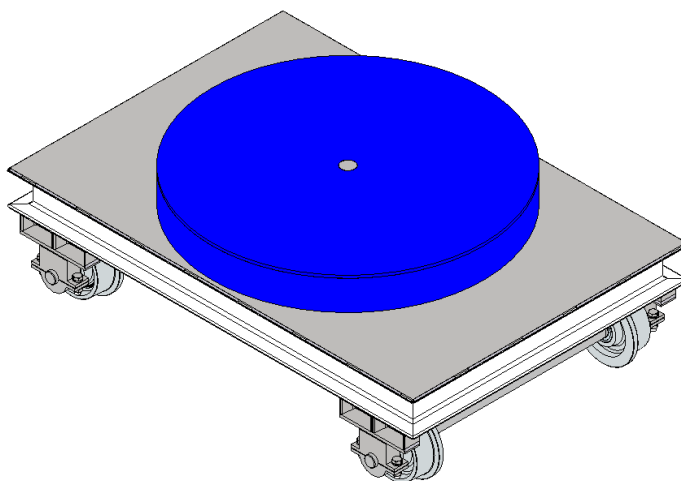
Obrázek 10- Rotační segment s dvěma podpěrami proti otlacení[vlastní koncepce]



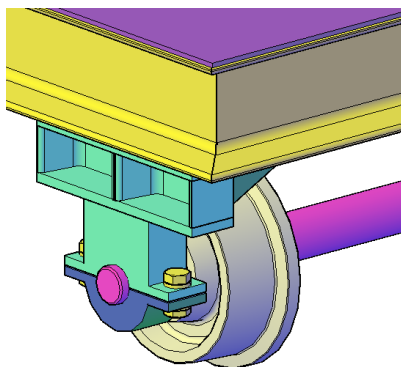
Obrázek 11-Ložiskový domek varianta 1 [vlastní koncepce]

#### 4.4.Varianta řešení 2

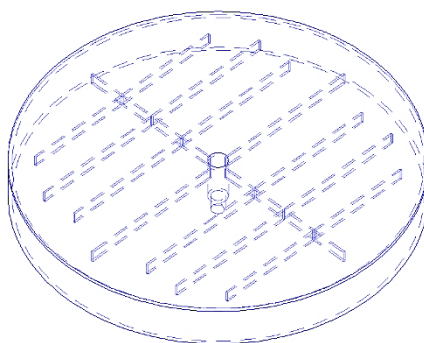
Tato varianta řeší jednoduchou konstrukci vozíku, který není opatřen madly. Vnitřní varianta otáčení rotačního segmentu je vyztužena žebry, a dále jen jednou ložiskovou drážkou. Kola s nákolkem jsem řešil koupí z výběru katalogu zahraniční firmy Blickle Räder+Rollen GmbH u. Co. KG (příloha A) s pobočkou v české republice.



Obrázek 12- Varianta vozíku 2. [vlastní koncepce]



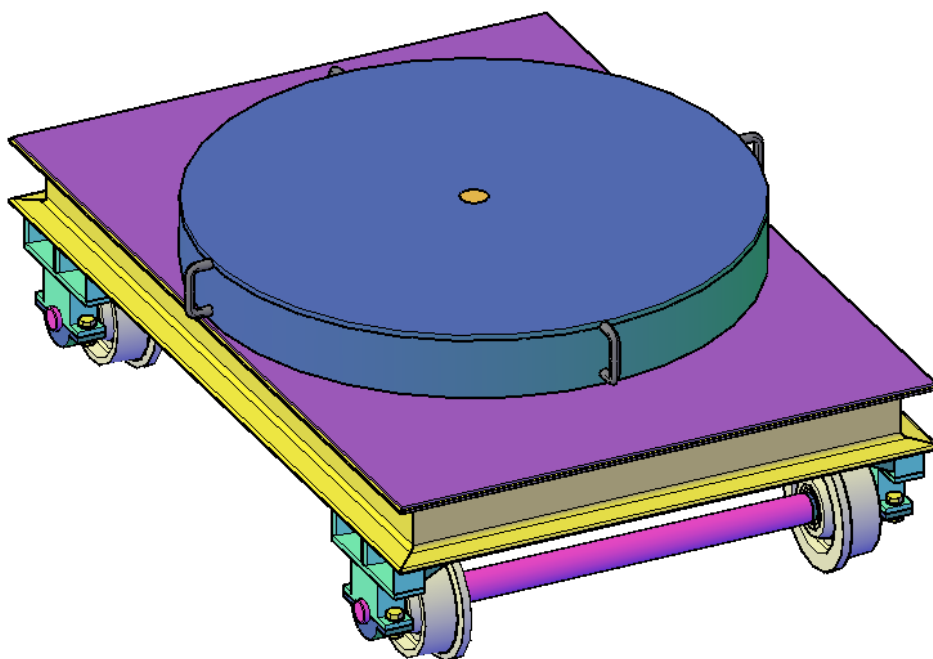
Obrázek 14-Otočný segment vyztužený žebry bez vyztužení na otlačení [vlastní koncepce]



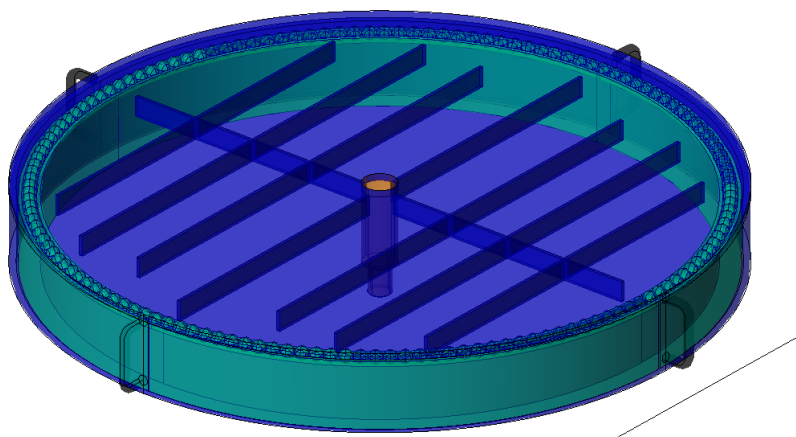
Obrázek 13-Detail uchycení kola[vlastní koncepce]

### 4.5. Varianta řešení 3

Ve variantě číslo tři jsem se zaměřil, na kombinaci dvou předchozích. Na vozíku není madlo umístěné rámu obrázku 9 a na vnitřní variantu otáčení rotačního segmentu jsem volil pomoci madel (obr. 16), je vyztužený žebry a dále jen jednou ložiskovou dráhou, horní desku jsem vyztužil ocelovým kruhem proti otlacení ložiskovými kuličkami.



Obrázek 15 – Varianta vozíku 3 [vlastní koncepce]



Obrázek 16 – Otočný segment [vlastní koncepce]

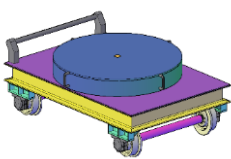
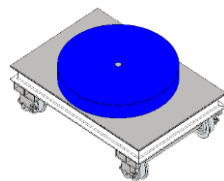
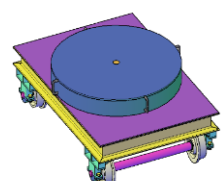
## 4.6. Upřesnění požadavků

Řešení by mělo být jednoduché s ohledem na technologii výroby. Vylepšení stávajících zařízení o zvýšení na požadovanou nosnost. Nastavení výšky nesmí omezovat manipulaci. Využití normalizovaných dílců pro levnější výrobu je výhodou.

Tabulka 4 – Morfologická matice [vlastní koncepce]

Dílčí funkce		Funkční principy / orgány funkcí			
		1	2	3	4
Fu 1	Opotřebení vozíku	Malé	Střední	Velké	
Fu 2	Přesun polotovaru	Nahoru, dolů	Dopředu, dozadu po dráze	Vlevo, vpravo	
Fu 3	Nastavení výšky polotovaru	Šroubovým a posuvným poh.	Ručně	Šroubovým pohybem	Mechanicky
Fu 4	Natočení materialu	ložiskovým uložením	třecím ulož. spojení	Jedna dráha pro ložiskové kuličky	Dvě dráhy pro ložiskové kuličky
21 31 41	Zajistit polohu	Díra /čep	Klik. mech	Západka	Klínek
22 32 42	Umožnit ruční pohon	Přímý	Rotační	Kombinace přímý pohyb a rotační	Ozubené kolo pastorek
23 33 43	Pohyb řídit Řízení/regulace Udávat poloh.	Pohonný mech.	Ručně		

Tabulka 5 – Orgánová struktura [vlastní koncepce]

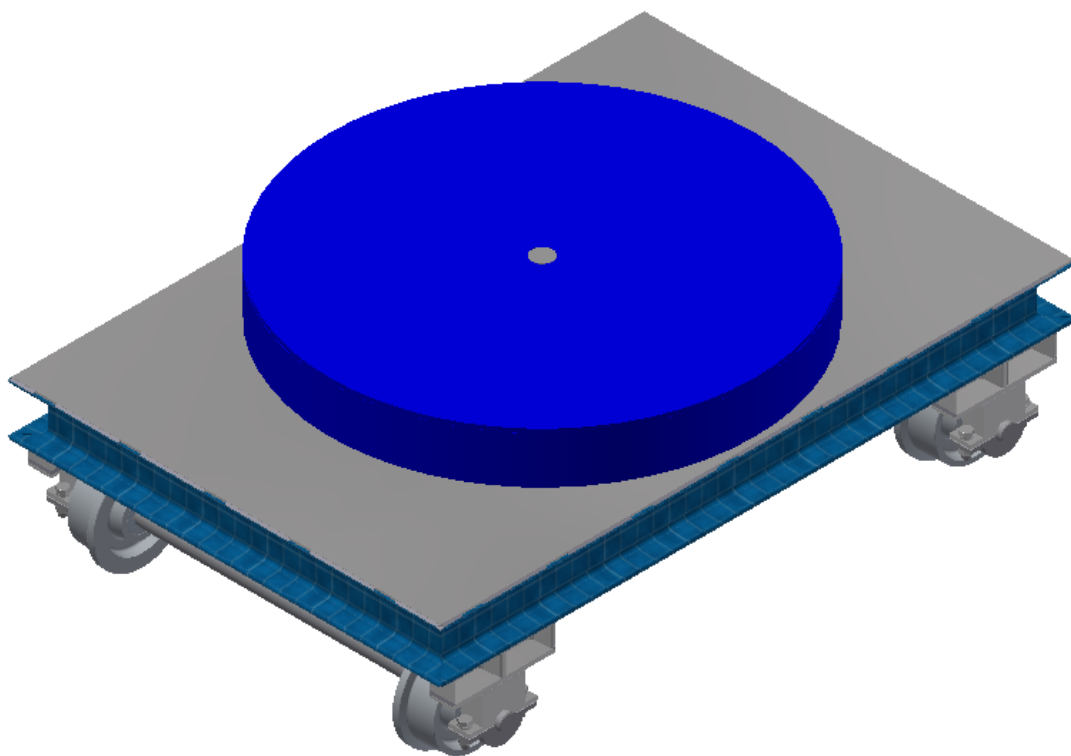
Poznámka: Orgány – nositelé funkcí pro funkce: 31); 32); 33); 41); 42); 43) se snáší se všemi kombinacemi hlavních funkcí		Varianta 1.	Varianta 2.	Varianta 3.
Kombinace organ-nositelů funkce	Fu1			
	Fu2	4	3	2
	Fu3	1	1	1
	Fu4	4	4	4
Hrubé hodnocení	Technické nedostatky	3	3	2
	Výrobní náklady	4	2	1
Celkové hodnocení		3,5	3	2



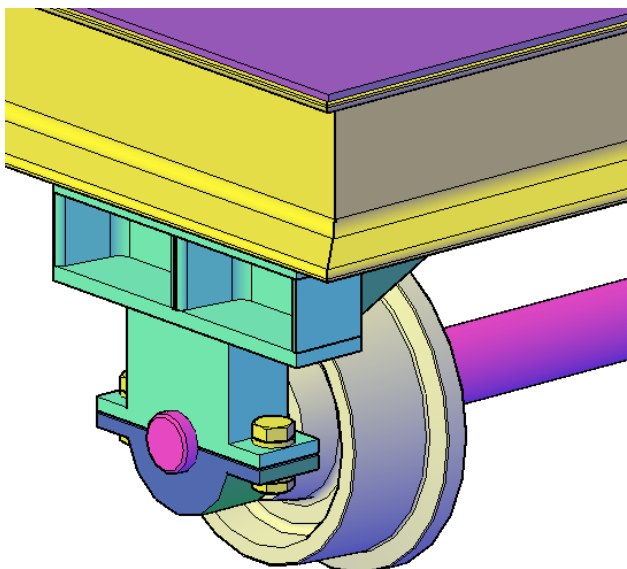
## 5. Kompletní konstrukce vozíku

Vozík je kompletně sestaven podle nejlepšího řešení vybrané varianty 3 viz tabulka 5. Model na obrázku 17 tvoří až na úchytky kolem otočné konzole kompletní variantu řešení, vozík se skládá z konstrukce svařeného rámu, otočné konzole a nápravy. Detailní pohled na otočnou konzoli a její funkci je vidět na obrázku 19.

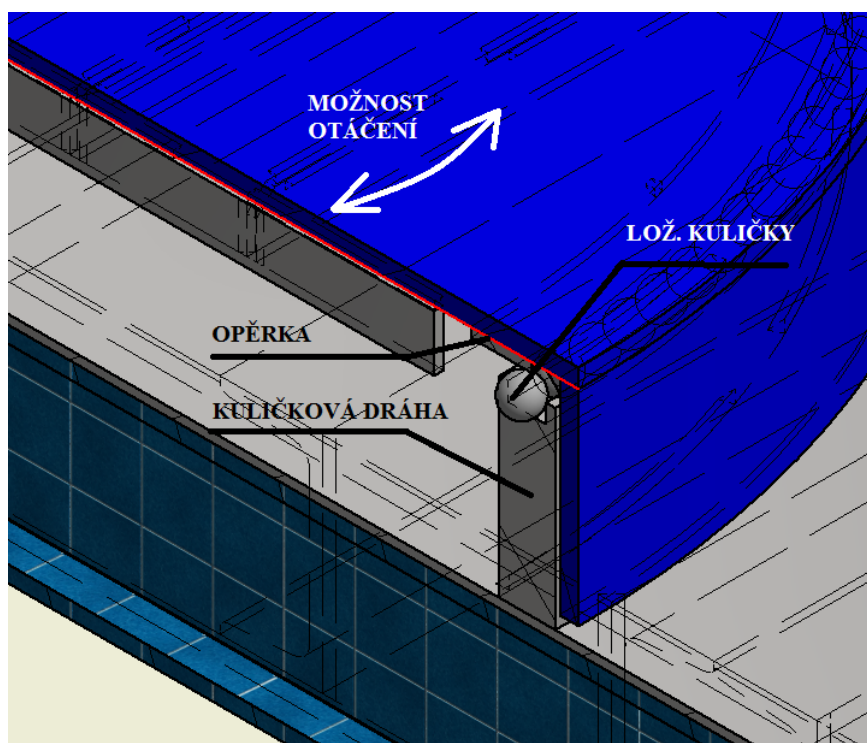
V horní části vozíku se nalézá svařenec otočné konzole, který slouží jako ložná a otočná plocha při manipulaci s motory při nástřiku. Ve spodní části vozíku se nachází hřídel s dvojkolím ustaveným do přesné polohy distančními kroužky. Tato sestava je pevně spojena s horní a dolní části nosiče pomocí dvou šroubů. (obrázek 18)



*Obrázek 17 – Kompletní konstrukce vozíku [vlastní koncepce]*



Obrázek 18-Detail uchycení nápravy k rámu[vlastní koncepce]



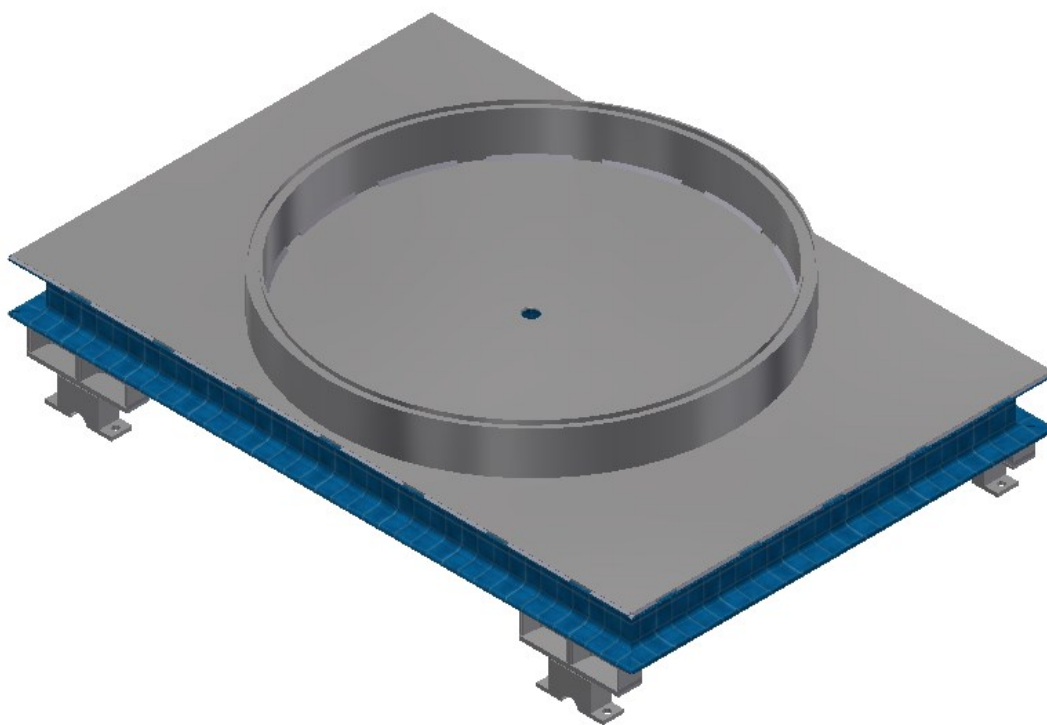
Obrázek 19 - Detail otočného segmentu[vlastní koncepce]

V náhledu detailu otočné konzoly na obrázku 19 je vidět kuličková dráha, ve které jsou umístěny ložiskové kuličky, které umožňují otočení ložné plochy. Dále je na detailu vidět umístění žeber v otočném segmentu.

## 5.1.Konstrukce rámu

Složení rámové konstrukce vyplynulo z výsledků orgánové struktury z tabulky 5. Tyto technické parametry byly konzultovány a upravovány se zadavatelem.

Rám (obr. 20) je tvořen na sebe navařenými U profily, které tvoří kvádr o rozměrech 1500 x 1010 mm. Ten je dále vyztužen středem vedoucím uzavřeným U profilem s otvorem pro hřídel otočné konzole a propojen dalšími U profily o stejném rozměru U 120. Celá konstrukce rámu je tvořena ze stejného U profilu. Na horní rámové konstrukci je v podobě ocelového plechu přidána ložná plocha, ve které je otvor pro hřídel otočné konzole. Plech je vystředěn na otvor rámu a přivařen k němu po obvodu.

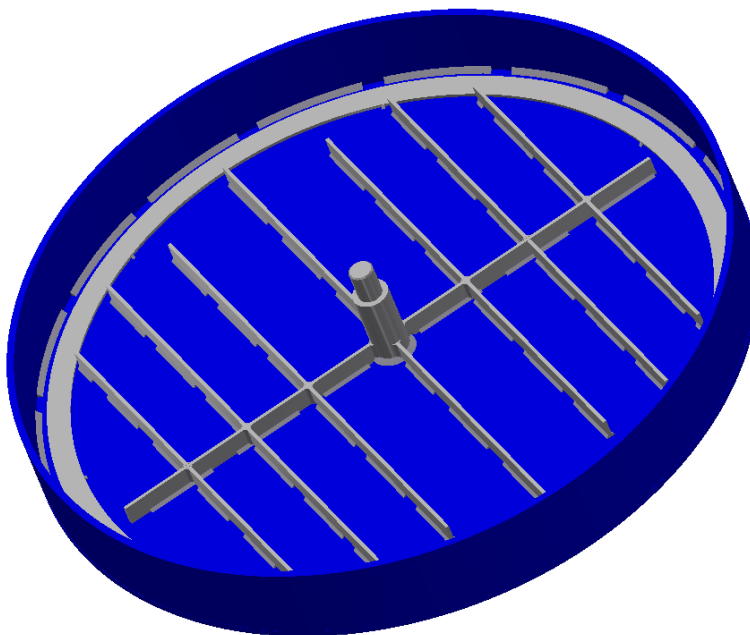


*Obrázek 20 - Konstrukce rámu[vlastní koncepce]*

Na ložné ploše je přivařena kuličková dráha z vydrážkovaného plechu, tvarovaného a svařeného do potřebného průměru. Ta je následně vystředěna opět na střed otvoru na ložné ploše. V poslední fázi konstrukce rámu je přivařen konstrukční svařenec horní části nosiče v daných rozměrech, aby vyhovovaly namontování hřídele s koly pomocí spodní části nosiče.

## 5.2.Svařenec otočné konzole

Otočná konzole na obrázku 21 je svařena z obvodového plechu ohnutého a přivařeného k otočné desce, ke které je přivařena hřídel a vzpěry, které slouží k zamezení prohnutí desky. K otočné desce je přivařena i výztuž proti otlačení, ložiskovými kuličkami, které se po ní pohybují a přenášejí hlavní tíhový účinek.



*Obrázek 21 – Otočný segment[vlastní koncepce]*

## 5.3.Materiál konstrukce

Na celou konstrukci jsem použil konstrukční ocel S355J2H, kterou jsem zvolil z katalogu profilů používajících ve firmě Pars Nova a.s.. Tato ocel je vhodná ke svařování, používá se pro konstrukce všeobecného použití. Celý rám vozíku je svařen metodou obloukového svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (135). Tuto metodu jsem použil kvůli nízkým výrobním nákladům při dosažení požadované kvality svaru.

## 5.4.Vlastnosti použitého materiálu

Hrubý přehled vlastností materiálu konstrukční oceli S355J2H využitě pro rám vozíku v tabulce 6 dále v tabulce 7 chemický rozbor oceli. Detailnější náhled v příloze C.

Tabulka 6 – Vlastnosti materiálu [14]

Označování oceli		Minimální mez kluzu $R_{eH}$ Mpa		Pevnost v tahu $R_m$ Mpa		Tažnost A <sup>d)</sup> %	Minimální hodnota nárazové práce KV <sup>e)</sup> J		
		Jmenovitá tloušťka mm		Jmenovitá tloušťka mm		Jmenovitá tloušťka mm	Při zkušební teplotě		
Značka	Číselné označení	≤ 16	> 16 ≤ 40	< 3	≥ 3 ≤ 40	≤ 40	-20 °C	0 °C	20 °C
S235JRH <sup>a)</sup>	1.0039	235	225	360 - 510	360 - 510	24 <sup>b)</sup>	-	-	27
S275J0H <sup>a)</sup>	1.0149	275	265	430 - 580	410 - 560	20 <sup>c)</sup>	-	27	-
S275J2H	1.0138						27	27	-
S355J0H <sup>a)</sup>	1.0547	355	345	510 - 680	470 - 630	20 <sup>c)</sup>	-	27	-
S355J2H	1.0576						27	-	-
S355K2H	1.0512						40 <sup>f)</sup>	-	-

<sup>a)</sup> Vlastnosti nárazové práce jsou ověřovány pouze pokud je specifikován Volitelný požadavek 1.3.  
<sup>b)</sup> Pro tloušťky > 3 mm a velikosti profilu D/T < 15 (kruhový průřez) a (B+H)/2T < 12,5 (čtvercový a obdélníkový průřez) je minimální tažnost snížena o 2. Pro tloušťky ≤ 3 mm je minimální hodnota tažnosti 17%.  
<sup>c)</sup> Pro velikost profilů D/t < 15 (kruhový průřez) a (B+H)/2T < 12,5 (čtvercový a obdélníkový průřez) je minimální tažnost snížena o 2.  
<sup>d)</sup> Pro tloušťky < 3mm viz. 9.2.2.  
<sup>e)</sup> Pro vlastnosti nárazové práce pro zkušební tělesa se zeslabenou částí viz 6.7.2.  
<sup>f)</sup> Tato hodnota odpovídá 27J při -30°C (viz EN 1993-1-1)

Tabulka 7 – Složení použitého materiálu [14]

Označování oceli		Způsob dezoxidace <sup>a)</sup>	Hmotnostní podíl v % max.					
Značka	Číselné označení		C	Si	Mn	P	S	N <sup>b)</sup>
S235JRH	1.0039	FF	0,17	-	1,40	0,040	0,040	0,009
S275J0H	1.0149	FF	0,20	-	1,50	0,035	0,035	0,009
S275J2H	1.0138	FF	0,20	-	1,50	0,030	0,030	-
S355J0H	1.0547	FF	0,22	0,55	1,60	0,035	0,035	0,009
S355J2H	1.0576	FF	0,22	0,55	1,60	0,030	0,030	-
S355K2H	1.0512	FF	0,22	0,55	1,60	0,030	0,030	-

<sup>a)</sup> způsob dezoxidace je označen následovně:  
FF: plně uhlidněná ocel s dostatečným množstvím prvků, které vážou dusík (např. min. 0,020 % celkového AL nebo 0,015% rozpustného Al).  
<sup>b)</sup> Maximální hodnota pro obsah dusíku neplatí, pokud ocel obsahuje celkový podíl Al minimálně 0,020% při minimálním podílu Al/N 2:1, nebo pokud jsou přítomny jiné dostatečné prvky, které vážou N. Obsah prvků, které vážou N musí být uveden v dokumentu kontroly.

Základní přehled vlastností oceli ČSN EN 10083-1 využitého materiálu pro hřídel nápravy v tabulce 8, také je v ní zobrazen chemický rozbor oceli. Dále v tabulce v příloze D jsou zobrazeny technologické vlastnosti.

Tabulka 8 - Přehled vlastností oceli hřídele [16]

Přehled vlastností oceli C45E ( C45 R )																	1.1191 ( 1.1201 )				
Druh oceli	Nelegovaná ušlechtilá ocel k zušlechťování																				
TDP	ČSN EN 10083-2: 2007. Tato norma obsahuje též ocel C45, klasifikovanou jako jakostní ocel k zušlechťování. Ocelí C45 nelze nahradit ušlechtilé oceli C45E popř. C45R. C45 však lze nahradit ocelmi C45E resp. C45R.																				
Dřívější označení	C45E (C45R) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; Ck 45 ( Cm 45 ) podle DIN 17200; 12 050 podle ČSN.																				
Použití	Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechťeném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná i k povrchovému kalení plamenem nebo indukci.																				
Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )	C	Si max.	Mn	P max.	S max. <sup>1)</sup>	Cr max.	Mo max.	Ni max.	Cr+Mo+Ni												
	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,030	0,035	0,40	0,10	0,40	max. 0,63												
Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>	0,40-0,52	0,43	0,46-0,84	0,035	0,040	0,45	0,13	0,45													
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup>	Průměr mm	R <sub>e</sub> min. MPa		R <sub>m</sub> MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J											
	d ≤ 16	490		700-850		14		35													
	16 < d ≤ 40	430		650-800		16		40		25											
	40 < d ≤ 100	370		630-780		17		45		25											
Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném <sup>3)</sup>	d ≤ 16	340		min. 620		14		-		-											
	16 < d ≤ 100	305		580		16		-		-											
	100 < d ≤ 250	275		560		16		-		-											
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na sifihatečnost (+S)				Žíháno na měkko (+A)				Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)												
	HB max. 255				HB max. 207				HRC min. 55												
	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm																				
Prokalitelnost <sup>4)</sup>	Tvrdost v HRC																				
	+H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25	30				
		Mez																			
		max	62	61	61	60	57	51	44	37	34	33	32	31	30	-	-	-			
		min	55	51	37	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	-	-	-			

## 6. Pevnostní kontrola vozíku

Pevnostní kontrolu rámu jsem zvolil pomocí analýzy rámových konstrukcí, která je součástí programu Inventor. Dále jsem provedl pevnostní kontrolu nápravy vozíku.

Z důvodu malých dynamických účinků jsem zvolil řešení analýzy rámových konstrukcí jen staticky zatížených. Dynamické účinky jsou akceptovány zvýšením statické bezpečnosti  $K_s \geq 2$ . Vozík budu simulovat volně stojící zatížený maximální váhou motorů, které na vozíku budou nastříkávány ochrannou vrstvou.

### 6.1. Určení maximální dovolené hodnoty

#### Znamé hodnoty získané z tabulek a literatury

Tabulka 9 – Převodní součinitel pro určení dovolených napětí [18]

	$\alpha_{\perp}$	$\alpha_{\parallel}$
<b>Koutový svar</b>	0,75	0,65
<b>Tupý svar</b>	0,85(tah) 1(tlak)	0,7(smyk)
<b>Složené namáhání</b>	0,65	0,65

$$R_m = 470 - 630 \text{ MPa} \quad [14]$$

$$R_e = 355 \text{ MPa} \quad [14]$$

$$c_{II} = 0,85 \quad [2]$$

$$c_{III} = 0,65 \quad [2]$$

#### Výpočet pro svary

$$\sigma_{Dt} = c_{II} \cdot \frac{R_e}{k} = 0,85 \cdot \frac{355}{2} = 150,875 \text{ MPa} \quad [18] \quad (1)$$

$$\tau_{DSV} = \alpha \cdot \sigma_{Dt} = 0,65 \cdot 150,875 = 98,0687 \text{ MPa} \quad [18] \quad (2)$$

$$\sigma_{DSV} = \alpha_{\perp} \cdot \sigma_{Dt} = 0,85 \cdot 150,875 = 128,243 \text{ MPa} \quad [18] \quad (3)$$

#### Výpočet pro hřídel

$$\sigma_{DTH} = c_{III} \cdot \frac{R_e}{k} = 0,65 \cdot \frac{430}{2} = 139,75 \text{ MPa} \quad [18] \quad (4)$$

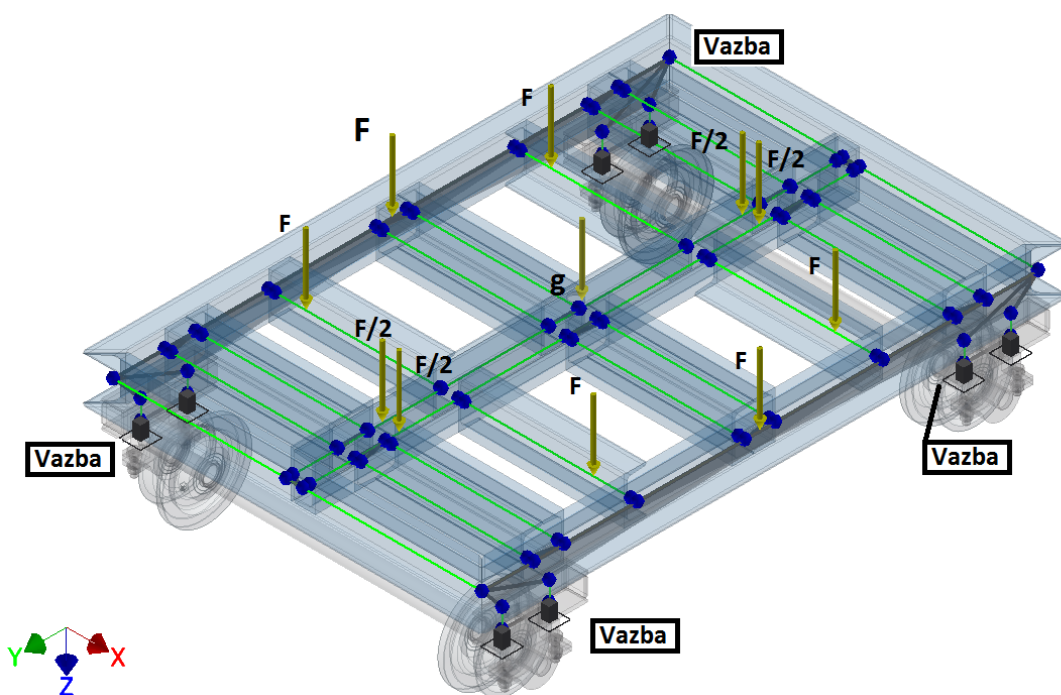


## 7. Analýza rámových konstrukcí

Model rámu vozíku jsem vytvořil pomocí generátoru rámových konstrukcí v programu Inventor. Díky této metodě konstruování využiji i modul „analýza rámových konstrukcí“. Důsledkem využití generátoru rámových konstrukcí a analýzy rámových konstrukcí mohu v průběhu řešení snadno měnit a nastavovat různé délky profilů a u jednotlivých nosníků měnit jejich rozměrové parametry. Výhodou analýzy je velká rychlost vyhodnocení výsledků. Nevýhoda analýzy je v tom, že neuvažuje s jinými součástmi rámu například s pruty, a proto jsem musel v analýze využít pevného spojení bodů. (obrázek 22)

### 7.1. Vazby a rozmístění sil

Protože je uvažována jen rámová konstrukce, zvolil jsem vazby na nosných profilech U, které jsem dále kvůli nedokonalosti spojení musel propojit s horním nosníkem pomocí funkce pevného spojení. Dále jsem řešil problém se zvolením místa působící síly a zvolil jsem řešení rozdělení síly na 10 lokálně působících sil v oblasti dotyku přivařené kuličkové dráhy, z toho bylo 6 stejně zatížených po  $F = 10\,000\text{ N}$  a 4 zatížené po  $F=5\,000\text{ N}$ . Dále byla ještě vložena silová složka gravitace. (obr. 18)



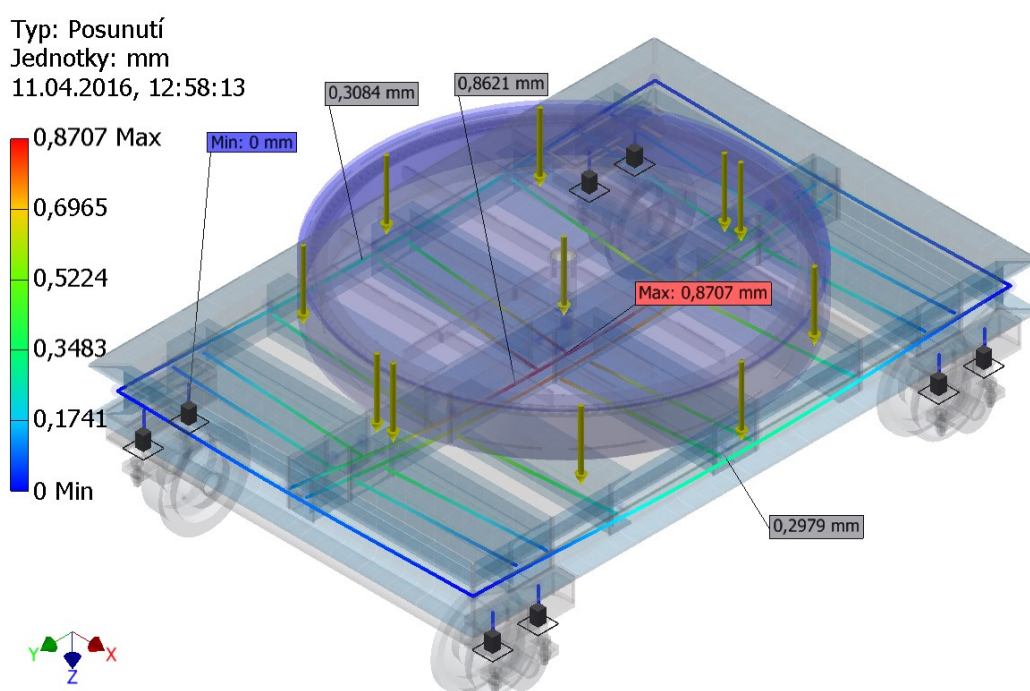
Obrázek 22 – Umístění vazeb a sil [vlastní koncepce]



## 7.2. Výsledky rámové analýzy

### Posunutí

Vzhledem k výsledkům posunutí získaných analýzou, které jsou znázorněny na obrázku 23, kde je zobrazena maximální hodnota 0,8707 mm, která je vzhledem k rozměrům celé konstrukce vyhovující. Ostatní hodnoty posunutí jsem zobrazil pomocí sond. Posunutí jsou velice malá, ale na nejvíce zatížená místa propočítám svarové spoje na výdrž svarů, které budou konstrukci spojovat.

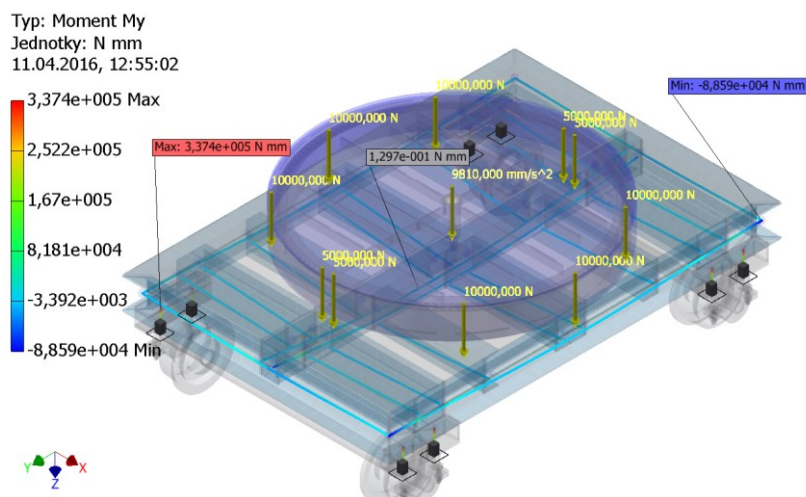


Obrázek 23 – Posunutí; analýza rámových konstrukcí [vlastní koncepce]

## 7.3. Normálové napětí

Podle zjištěných údajů a dovolených mezí ohybu nosníků, není nosník vysoce zatížen. V pásu karet analýzy jsou možnosti zobrazení normálových napětí. Zobrazení celkového maximálního normálového napětí (obr. 24) zahrnuje jak podélné tak příčné nosníky. Kompletně vyřeší veškerá napětí v pozorované rámové soustavě a graficky vykreslí jejich hodnoty. Na výsledku rámové analýzy, můžeme vidět, že největší napětí se generuje na místech spojů a u vazeb.

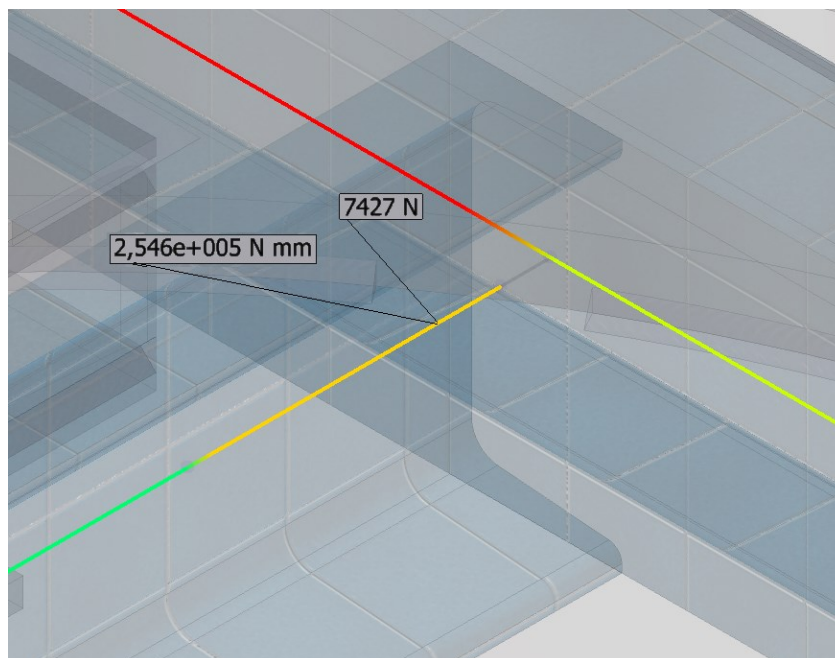




Obrázek 26 – Zobrazení momentu My[vlastní koncepce]

## 7.4. Základní pevnostní výpočet svarového spoje

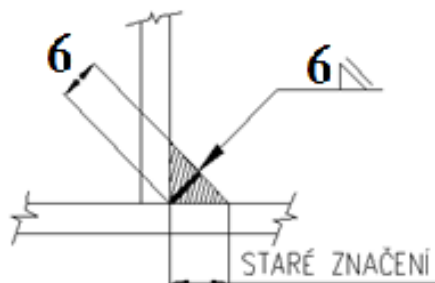
Pro výpočet svarového spoje využiji největší zatížení působící na svarový spoj, které jsem získal z analýzy rámových konstrukcí. Hodnoty ohybového momentu a největší získanou sílu na obrázku 20, hodnoty poté použiji ve vzorcích pro dané druhy umístěných svarů.



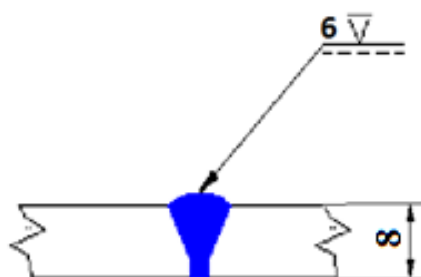
Obrázek 27 -Nejvíce zatížené místo silou a momentem[vlastní koncepce]

V konstrukční praxi při navrhování svarového spoje je nutné, aby mechanické vlastnosti přidaného materiálu svařovacího drátu byl vyšší, než vlastnosti základního

materiálu svařovaných dílců. Při výpočtech se pak uvažuje s hodnotami základního materiálu, čímž vznikne určitá předdimenzovanost a tedy i vyšší bezpečnost spoje. Při výpočtech vždy uvažujeme s nosným průřezem svaru, který je u tupých a koutových svarů rozdílný.



Obrázek 28 – Koutový svar [vlastní koncepce]



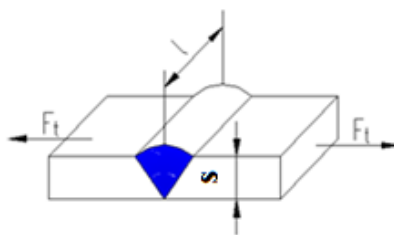
Obrázek 29 – Tupý svar [vlastní koncepce]

Na obrázku je zobrazen nosný průřez tupého V svaru (obr.24) a svaru koutového (obr.23).

#### 7.4.1. Podle způsobu zatížení pro jednotlivé typy svarů platí

##### Tupý svar na tah

Tupý svar v horní části profilu je především namáhán na tah, proto provádím kontrolu svaru na tah. Pro výpočet svaru vycházím z dovoleného napětí vypočítaného ve vzorci (3). Následně podle výsledku kontroly zjistím, zda svary vyhoví.



Obrázek 30 – Tupý svar zobrazení působení sil [vlastní koncepce]

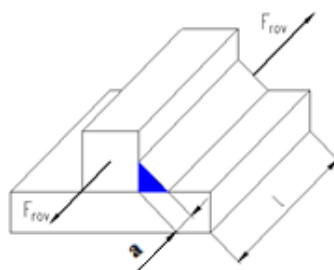
$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{\perp}}{t \cdot l} \leq \sigma_{DSV} \quad [18] \quad (7)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{\perp}}{s \cdot l} = \frac{F_{\perp}}{s \cdot (l' - 1,5 t)} \leq \sigma_{DSV} \quad (8)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{7427}{6 \cdot (55 - 1,5 \cdot 8)} = 28,78 \text{ MPa} \leq 128,243 \text{ MPa} \dots \dots \text{Vyhovuje} \quad (9)$$

### Koutový svar - složené namáhání

Výpočet koutového svaru v boční části profilu provádím výpočtem redukovaného namáhání, které následně porovnám s dovoleným namáháním vypočítaným v rovnici (2). Následně zjistím, zda svar vyhovuje či ne.



Obrázek 31 – Koutový svar zobrazení působení sil [vlastní koncepce]

$$\tau_{II} = \frac{F}{s} = \frac{F}{a \cdot l} = \frac{F}{a \cdot (l' - 1,5 t)} \quad [18] \quad (10)$$

$$\tau_{II} = \frac{7427}{6 \cdot (120 - 1,5 \cdot 8)} = 11,46 \text{ MPa} \quad (11)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{Mo}{Wo} = \frac{Mo}{\frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} = \frac{254600}{\frac{1}{6} \cdot 6 \cdot (120 - 1,5 \cdot 8)^2} = 21,82 \text{ MPa} \quad [18] \quad (12)$$

$$\tau_{red} = \sqrt{\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2} \leq \tau_{DSV} \quad [18] \quad (13)$$

$$\tau_{red} = \sqrt{11,46^2 + 21,82^2} = 24,65 \text{ MPa} \leq 98,0687 \text{ MPa} \dots \dots \text{Vyhovuje} \quad (14)$$

## 8. Pevnostní analýza nápravy

### 8.1. Volba materiálů a vazeb

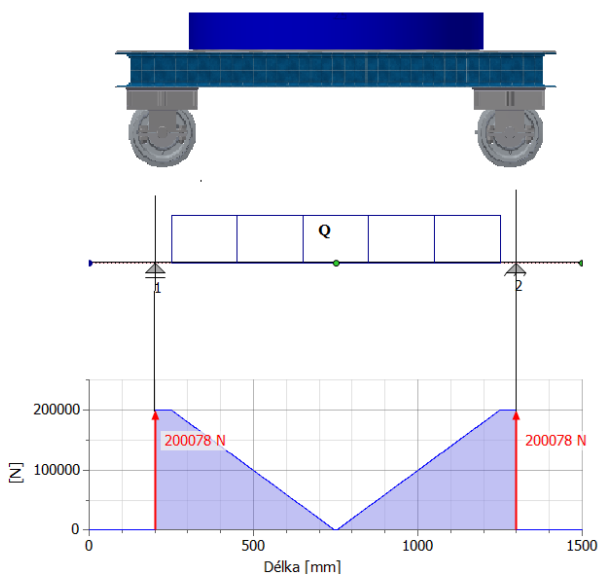
Materiály jsem volil z nabídky v programu Inventor a to takové, které jsou nejbližší k uvedeným hodnotám zvolených materiálů v konstrukci. Vazby jsem umístil na plochy kol. Zvolil jsem pevnou vazbu pro statické řešení kontroly vyhovující. Vazby jsem zvýraznil na obrázku (32) světle modrou barvou po obvodu kola.



Obrázek 32 – Ujistění vazeb [generováno programem Inventor]

### 8.2. Volba dotyků, zatížení

Nastavení dotyků jsem automaticky nechal vygenerovat a poté jsem kontroloval správnost dotyků. Pro toto řešení jsem volil dotyky vázané. Zatížení silou jsem umístil na plochy nosných částí, které jsou spojeny s rámem. Sílu jsem dělil čtyřmi, takže každá síla byla 20 000 N na obrázku 34. Pro základní kontrolu rozložení velikosti síly jsem si udělal základní výpočet reakcí  $R_a$  a  $R_b$  působící síly na vozík. (obr. 33)

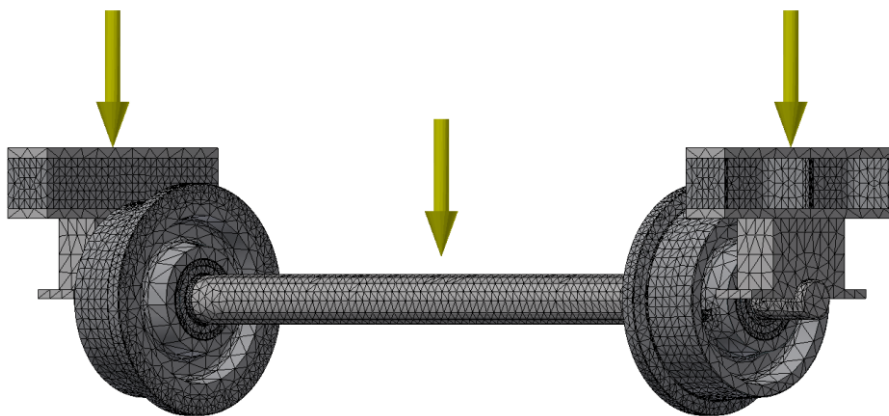


Obrázek 33 – Správné rozmístění sil [generováno programem Inventor]



### 8.3. Pohled sítě nápravy s umístěním zatížení

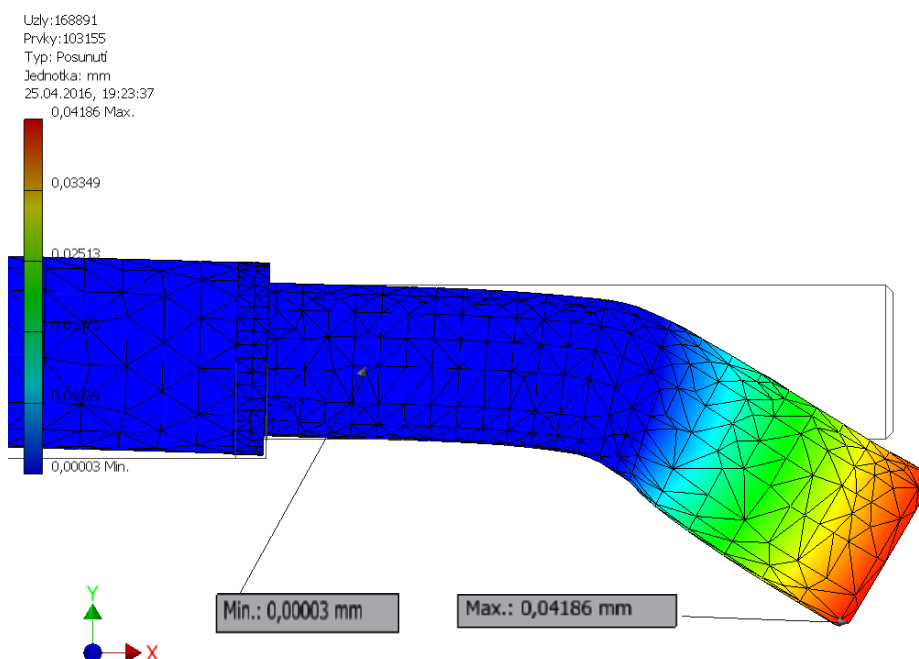
Sít' jsem volil tak, aby byly části sítě dobře vyváženy. Použil jsem v programu Inventor řízení místní sítě a upravil jsem jednotlivé velikosti prvků v plochách.



Obrázek 34 – Zobrazení sítě a sil[generováno programem Inventor]

### 8.4. Výsledky pevnostní analýzy hřídele

#### 8.4.1. Výsledky posunutí



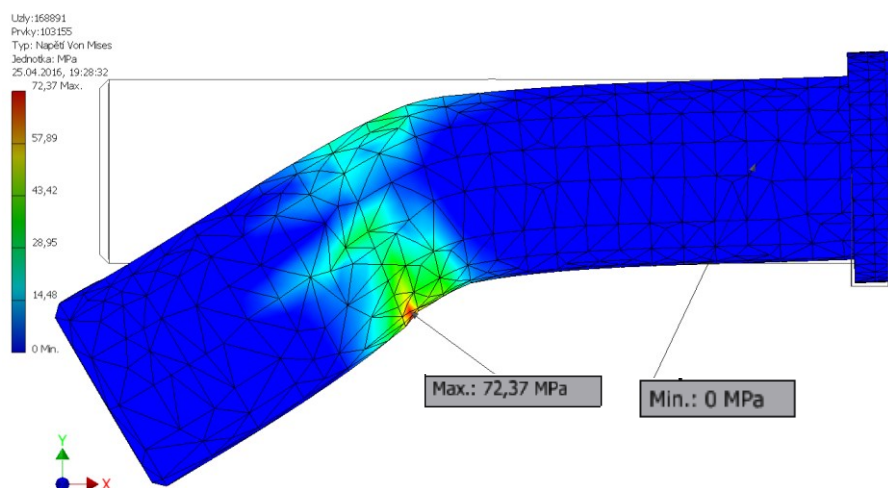
Obrázek 35 – Výsledné posunutí[generováno programem Inventor]

### 8.4.2. Výsledky napěťové

Napěťový výsledek zobrazený v programu Inventor ukazuje výsledek maximálního napětí na hřídeli velikosti 72,37 MPa. Podle dovolených hodnot spočítaných v kapitole výpočtů dovolené napětí (vzorec 4), je výsledkem dovoleného napětí v ohybu 139,75 MPa. Oba výsledky porovnám a zjistím, že napěťový výsledek v pevnostní analýze vyhovuje. (vzorec 16)

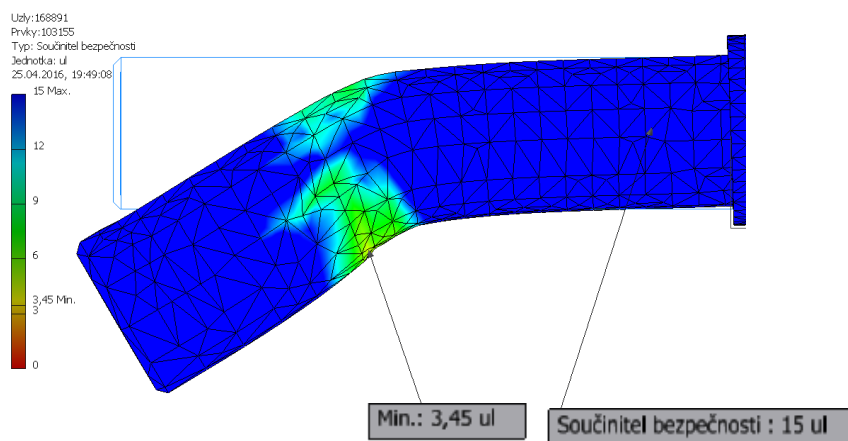
$$\sigma_{Hmax} \leq \sigma_{DTH} \quad [18] \quad (15)$$

$$72,37 \text{ MPa} \leq 139,75 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje} \quad (16)$$



Obrázek 36 – Výsledek redkovaného namáhání[generováno programem Inventor]

### 8.4.3. Výsledek získané bezpečnosti



Obrázek 37 – Výsledek zobrazené bezpečnosti[generováno programem Inventor]



## 9. Kontrolní výpočet hřídele

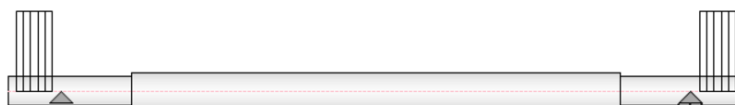
Kontrolní výpočet hřídele jsem tvořil pomocí programu Autodesk Inventor, který provádí výpočet kontroly hřídele pomocí metody HMH (Podmínka plasticity Huber-Mises-Hencky, nebo také von Mises). Níže v kapitole můžeme vidět výpočetní model hřídele na obrázku 38 realizovaný programem a nad ním tabulky hodnot použitých k výpočtu. Dále jsem zde uvedl výsledky získané v programu. Na obrázku 39 zatížení smykové síly a také výsledné redukované napětí na obr. (40). Zbytek výpočtu je uveden v příloze (B).

Tabulka 10 – Síly va modelu

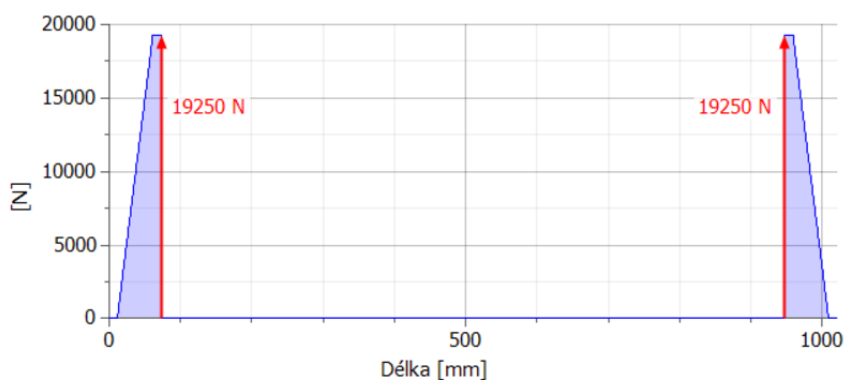
Index	Umístění	Spojité zatížení		
		Y	Velikost	Délka
1	11 mm	385,000 N/mm	385,000 N/mm	50,000 mm
	61 mm			
2	959 mm	385,000 N/mm	385,000 N/mm	50,000 mm
	1009 mm			

Tabulka 11 – Vazby na modelu

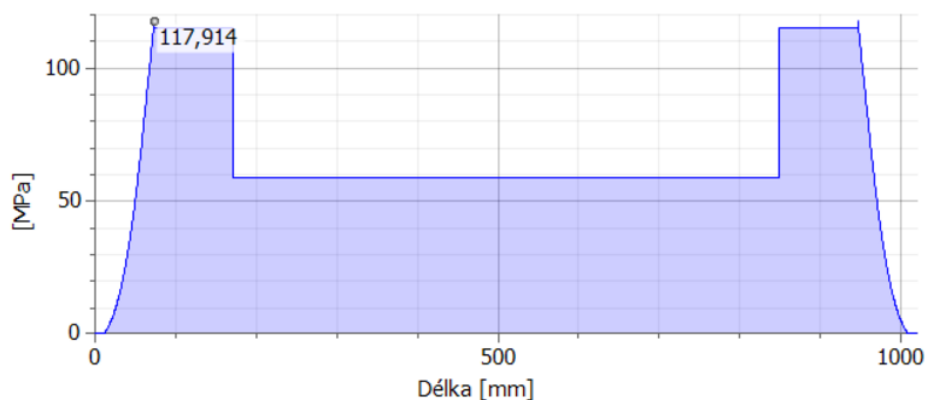
Index	Typ	Umístění	Reakční síla	
			Y	Velikost
1	Volný	73,5 mm	19250,000 N	19250,000 N
2	Pevná	946,5 mm	19250,000 N	19250,000 N



Obrázek 38 - Výpočetní model [generováno programem Inventor]



Obrázek 39 - Náhled smykové síly [generováno programem Inventor]



Obrázek 40 - Získané redukované napětí [generováno programem Inventor]

## 9.1. Získané výsledky

Ve výsledcích výpočtů kontroly hřídele jsem zjistil menší nevyváženost ve výsledcích získaných pevnostní analýzou a kontrolním výpočtem. Výsledkem kontroly je maximální redukované napětí  $\sigma_{red} = 117,914$  MPa, pro které se také provede porovnávací kontrola s výpočtem maximálního dovoleného napětí ve vzorci (4). Zjistíme, že výpočet také vyhovuje. (vzorec 18)

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{DTH} \quad [18] \quad (17)$$

$$117,914 \text{ MPa} \leq 139,75 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje} \quad (18)$$

Tabulka 12 - Výsledky

Délka	L	1020,000 mm
Hmotnost	Hmotnost	14,581 kg
Maximální napětí v ohybu	$\sigma_o$	114,890 MPa
Maximální smykové napětí	$\tau_s$	15,319 MPa
Maximální napětí v krutu	$\tau$	0,000 MPa
Maximální napětí v tahu	$\sigma_T$	0,000 MPa
Maximální redukované napětí	$\sigma_{red}$	117,914 MPa
Maximální průhyb	$f_{max}$	1138,579 microm
Úhel zkroucení	$\varphi$	0,00 deg

## 10. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit konstrukční řešení manipulačního kolejového vozíku se zvýšenou nosností pro přepravování a nástřik elektromotorů. Podle zadaných parametrů, které jsou maximální nosnost, maximální rychlost, rozměry vozíku v rozmezí a rozměry přepravovaných elektromotorů. Konstrukce vozíku je podobná vozíku nyní používaného ve firmě Pars Nova a.s., který má ale menší hmotnost.

První část se zabývá úvodem a rešerší, ve které jsem se zabýval vyhledáváním vhodných vozíků k možné koupi, které by vyhovovaly daným požadavkům, které jsme si se zadavatelem předem stanovili. Vybrané vozíky v rešerši buď nevyhověly zadaným parametrům nebo složitostí dopravy či ceny.

Druhá část se skládá z dvou kapitol, z vlastního návrhu a kompletní konstrukce zařízení, ve které jsem vybral mezi třemi způsoby provedení mnou navržených variant. Liší se od sebe způsobem řešení konstrukce otočného segmentu a způsobem uchycení nápravy. Vybral jsem nejlepší variantu řešení. Další část rozebírá kompletní návrh vozíku vytvořený v programu Inventor a řeší každou sestavnou část konstrukce. Dále popisuje materiál a zobrazuje vlastnosti jednotlivých materiálů jak pro rám tak i pro hřídel.

V posledních čtyřech kapitolách práce řeším pevnostní kontrolu vozíku, kterou jsem prováděl pomocí programu Inventor. Jedna se zabývá výpočtem dovolených napětí. Další kontrolní zkoumání zahrnuje kontrolu rámových konstrukcí a výpočet svarového spojení nejvíce zatížené čisti vozíku a kontroly spoje svaru, pevnostní kontrolu nápravy zaměřenou na hřídel. V poslední části provádím ještě kontrolní výpočet zaměřený na hřídel podvozku a pomocí dílčích funkcí jsem provedl výpočet se všemi stanovenými parametry.

Při kontrolních výpočtech a měření výsledků analýz pomocí simulace v programu Inventor jsem dospěl k závěru, že mnou navržený výrobek splňuje parametry, které jsem si na počátku stanovil. Lze jej podle této navržené konstrukce vyrobit a použít pro přepravu a manipulaci při nástřiku elektromotorů. Kompletní výkresová dokumentace k vozíku je vytvořena v přílohách.

### **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu Dr. Ing. Jaroslavu Meleckému a panu ing. Radimíru Brokešovi za jeho cenné připomínky a rady při vypracovávání bakalářské práce.

## Seznam použité literatury:

- [1] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. 2., opr. vyd. Brno: Computer Press, 2007, 252 s. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-1887-0.
- [2] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. doplněné vydání. Úvaly: ALBRA, 2006. ISBN 80-7361-033-7
- [3] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky I: Pro školu a praxi*. 1. vydání. Praha 6: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.
- [4] ČSN 73 1401. *Navrhování ocelových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 1998
- [5] ČSN EN 10219-1. *Svařované duté profily z konstrukčních nelegovaných a jemnozrnných ocelí, tvářené za studena: Část 1: Technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, 2006
- [6] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů: Části spojovací*. Ostrava, 2012. Skripta. VŠB - technická univerzita Ostrava, fakulta strojní, katedra částí a mechanismů strojů.
- [7] KOVAŘÍK, R. a F. ČERNÝ. *Technologie svařování*. Plzeň, 2000. Skripta. ZČU v Plzni.
- [8] BÖHLER UDDEHOLM. *Svařovací materiály Böhler welding*. Praha, 2011. Dostupné z: <http://www.bohler-uddeholm.cz>
- [9] *VALVE REPAIR AND TESTING EQUIPMENT: PKTBA* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.revalve.com/catalog/product/50>
- [10] *KONIGFRANKSTAHL: JASEN* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.akfs.cz/akfs/soubory/81cz.pdf?PHPSESSID=3697454b85f6961a8b57acea5d477645>
- [11] Henan Perfect Handling Equipment Co.: PERFECT. <Http://www.chinatransfercar.com> [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.chinatransfercar.com/Products/safety-battery-powered-factory-transfer-carts.html>
- [12] Bohdan Bolzano s.r.o.: Bolzano. <Http://www.bolzano.cz> [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10083/MOP\\_vlastnosti\\_C45.pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_C45.pdf)

- [13] EXPOSITA, a.s. *W*[www.exposita.cz](http://www.exposita.cz) [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z:  
<http://www.exposita.cz/9-6/Dulni-vozy.html>
- [14] ZELENÝ, Jiří. *Stavba strojů - strojní součásti: učebnice pro střední průmyslové školy*. Praha: Computer Press, 2000. Edice strojaře. ISBN 80-7226-311-0.

## Seznam příloh:

Příloha A - Kolo s nákolkem

Příloha B - Výpočet hřídele vygenerován Inventorem

Příloha C - Materiálový list S355

Příloha D - Materiálový list C45E (C45R)

Příloha E - Výkresová dokumentace

- a. P\_1\_09\_00569 - MAN. VOZÍK PRO TM AI 4846 zT - LAKOVÁNÍ
- b. P\_1\_09\_00569\_01 - NOSNÝ RÁM
- c. P\_1\_09\_00569\_02 - OTOČNÁ KONZOLE
- d. P\_1\_09\_00569\_03 - ROŠT RÁMU
- e. P\_1\_09\_00569\_04 - NOSIČ SPODNÍ DÍL
- f. P\_1\_09\_00569\_05 - KROUŽEK 1
- g. P\_1\_09\_00569\_06 - KROUŽEK 2
- h. P\_1\_09\_00569\_07 - HŘÍDEL PODVOZKU
- i. P\_1\_09\_00569\_08 - KULIČKOVÁ DRÁHA
- j. P\_1\_09\_00569\_09 - HLAVNÍ DESKA
- k. P\_1\_09\_00569\_10 - PROFIL RÁMU VELKÝ
- l. P\_1\_09\_00569\_11 - PROFIL RÁMU MALÝ
- m. P\_1\_09\_00569\_12 - VZPĚRA
- n. P\_1\_09\_00569\_13 - HŘÍDEL DESKY
- o. P\_1\_09\_00569\_14 - OBRUČ DESKY
- p. P\_1\_09\_00569\_15 - OTOČNÁ DESKA
- q. P\_1\_09\_00569\_16 - NOSIČ HORNÍ DÍL
- r. P\_1\_09\_00569\_17 - PROFIL RÁMU NOSIČE
- s. P\_1\_09\_00569\_18 - DESKA NOSIČE
- t. P\_1\_09\_00569\_19 - PROFIL RÁMU STŘEDNÍ

### SPK 251K

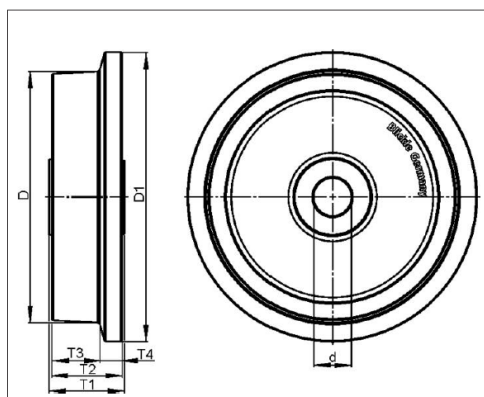


EAN: 4047526028534

ID: 28530

Kolo s nákolkem a drážkou pro kolo s plné oceli

**Běhoun / obruč** Z robustní šedé litiny, s mazníčkou, pojezdová plocha přesoustružená, zkosená k ose o 3°, velmi nízký valivý odpor, extrémně otěruvzdorně, lakované.  
Tread colour: stříbrná  
**Disk kola / ráfek:** -



#### Technické údaje:

Délka náboje (T1)	90 mm
Ø Otvoru pro osu (d)	40 mm
Nosnost	3500 kg
Polohanákolku (T4)	25 mm
Šířka běhounu (T3)	60 mm
Šířka kola (T2)	80 mm
Ø Kola vč. nákolku (D1)	300 mm
Ø Kola (D)	250 mm
Hmotnost	20.5 kg
Teplotní odolnost	-25 °C
Teplotní odolnost až do	120 °C
Tvrdost běhounu	180 - 220 HB
druh ložiska	Kuličkové ložisko

Valivý odpor



Hlasitost chodu



Šetření pojízdné plochy



Blickle Räder+Rollen GmbH u. Co. KG  
Heinrich-Blickle-Straße 1 · 72348 Rosenfeld · Germany  
Telefon: +49 7428 932-0 · Telefax: +49 7428 932-209  
E-Mail: [info@blickle.com](mailto:info@blickle.com) · Internet: [www.blickle.com](http://www.blickle.com)

© Blickle Räder+Rollen GmbH u. Co. KG 2014  
Rosenfeld · Germany

we innovate mobility

# Příloha B

## Generátor komponent hřídele (Verze: 2016 (Build 200138000, 138))

02.05.2016

### Informace o projektu

### Výpočet

#### Materiál

Materiál	Ocel, niklová
Modul pružnosti v tahu E	205000 MPa
Modul pružnosti v tlaku G	80000 MPa
Hustota	$\rho$ 8280 kg/m <sup>3</sup>

#### Vlastnosti výpočtu

Zahrnout		
Ne	Hustota	$\rho$ 8280 kg/m <sup>3</sup>
Ano	Součinitel smykového posunutí $\beta$	1,188 ul
	Počet úseků	3000 ul
	Režim redukováného napětí	HMH

#### Zatížení

Index	Umístění	Radiální zatížení				Ohybový moment				Spojité zatížení				Axiální zatížení	Krouticí moment	Průhyb				Úhel průhybu
		Y	X	Velikost	Směr	Y	X	Velikost	Směr	Y	X	Velikost	Směr			Y	X	Velikost	Směr	
1	11 mm									385,000 N/mm		385,000 N/mm				-460,983 microm		460,983 microm	180,00 deg	0,41 deg
	61 mm															-100,239 microm		100,239 microm	180,00 deg	0,41 deg
2	959 mm									385,000 N/mm		385,000 N/mm				-142,110 microm		142,110 microm	180,00 deg	0,41 deg
	1009 mm															-507,593 microm		507,593 microm	180,00 deg	0,42 deg

#### Podpory

Index	Typ	Umístění	Reakční síla				Axiální zatížení	Poddajnost	Typ	Průhyb				Úhel průhybu
			Y	X	Velikost	Směr				Y	X	Velikost	Směr	
1	Volný	73,5 mm	19250,000 N		19250,000 N			0,001 microm/N	Vlastní	-13,244 microm		13,244 microm	180,00 deg	0,39 deg
2	Pevná	946,5 mm	19250,000 N		19250,000 N			0,003 microm/N	Kuličková ložiska s hlubokou drážkou	-53,949 microm		53,949 microm	180,00 deg	0,38 deg

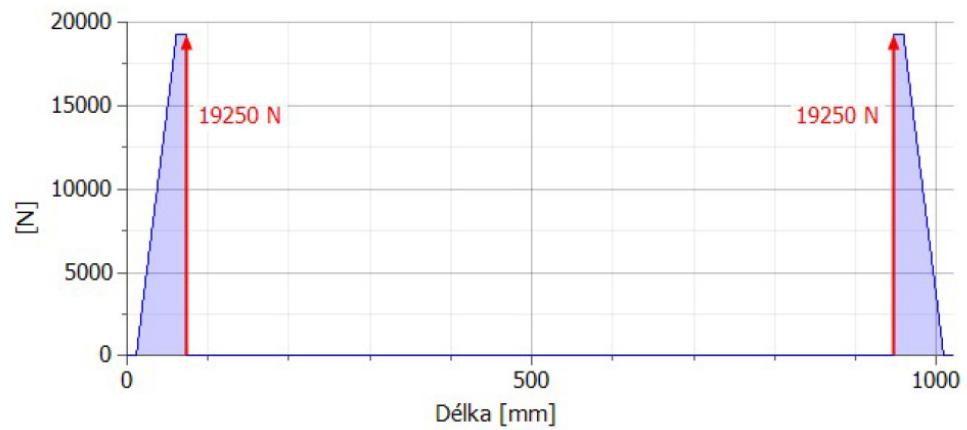
#### Výsledky

Délka	L	1020,000 mm
Hmotnost	Hmotnost	14,581 kg
Maximální napětí v ohybu	$\sigma_B$	114,890 MPa
Maximální smykové napětí	$\tau_S$	15,319 MPa
Maximální napětí v krutu	$\tau$	0,000 MPa
Maximální napětí v tahu	$\sigma_T$	0,000 MPa
Maximální redukováné napětí	$\sigma_{red}$	117,914 MPa
Maximální průhyb	$f_{max}$	1138,579 microm
Úhel zkroucení	$\varphi$	0,00 deg

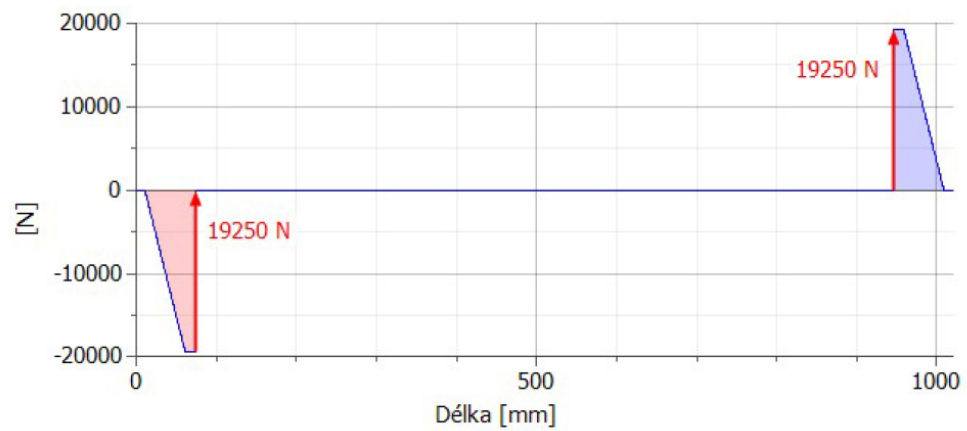




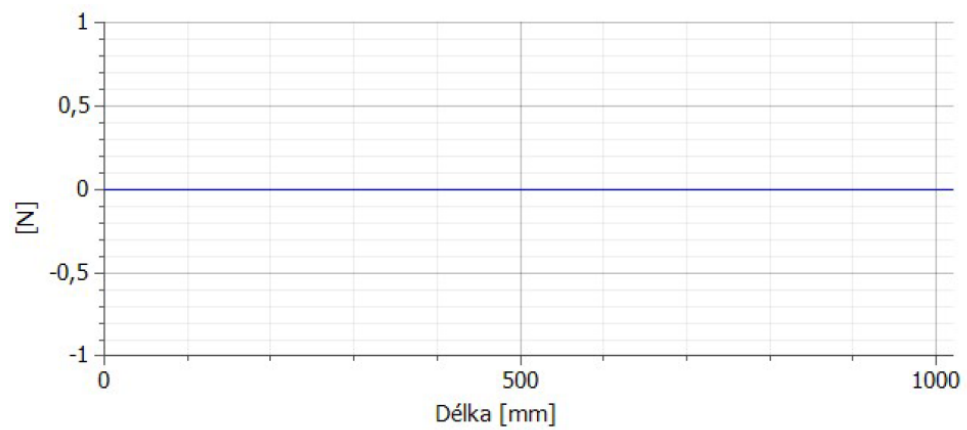
☐ Smyková síla

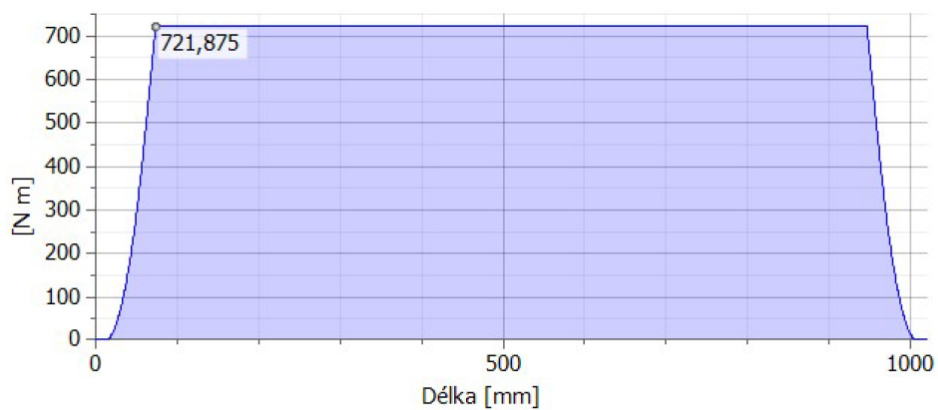


☐ Smyková síla, Rovina YZ

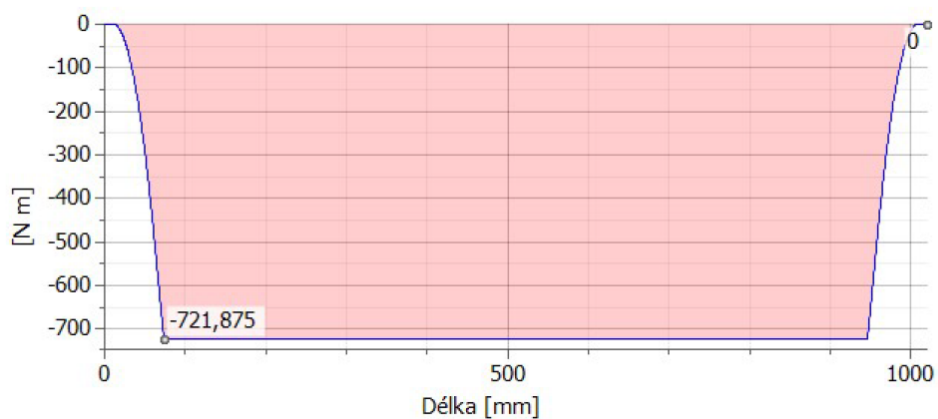


☐ Smyková síla, Rovina XZ

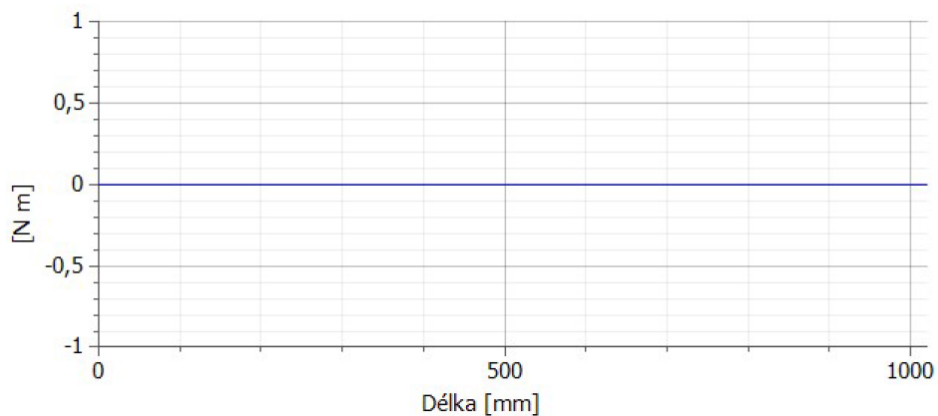




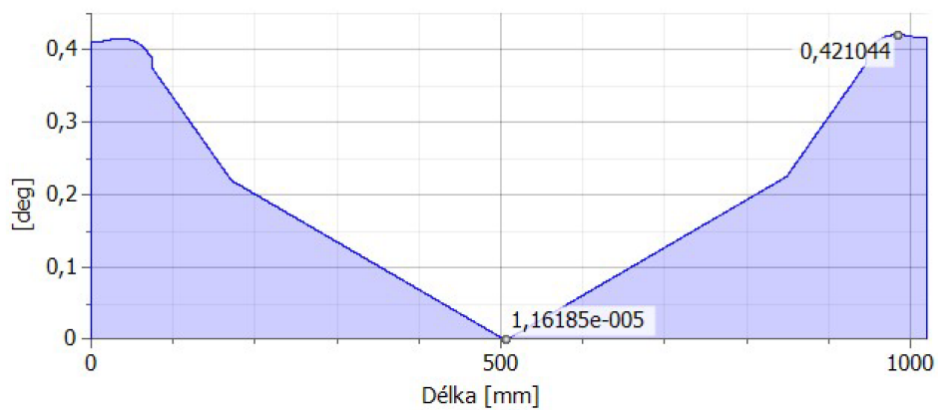
☐ Ohybový moment, Rovina YZ

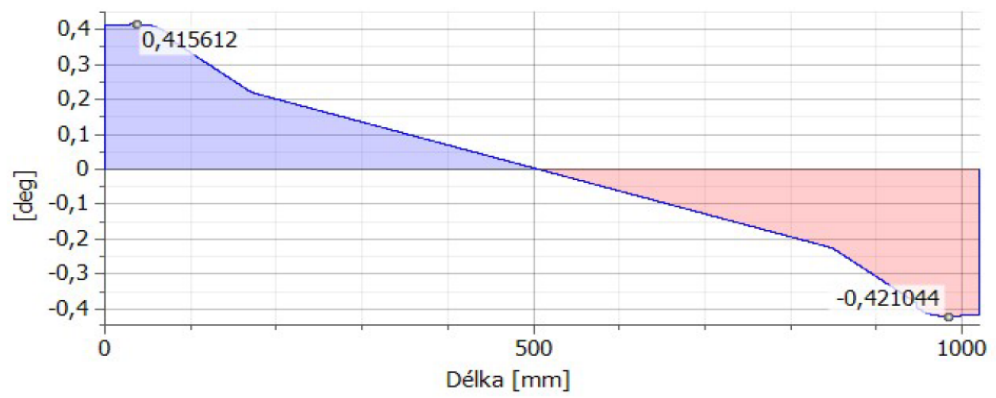


☐ Ohybový moment, Rovina XZ

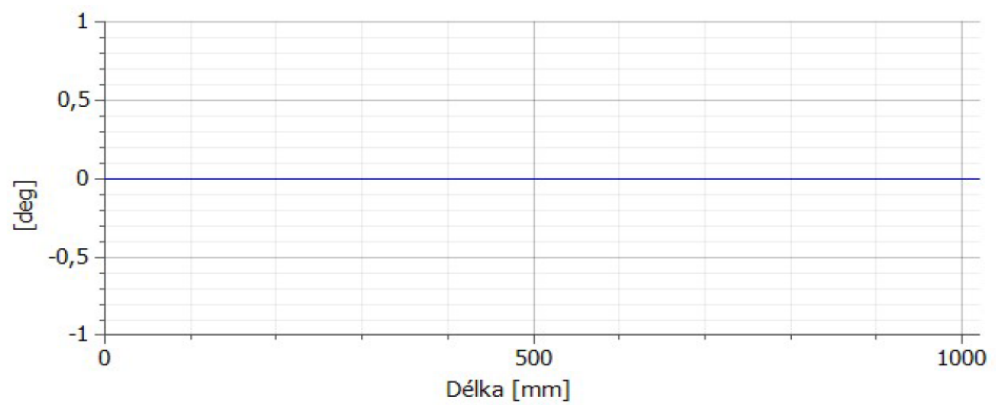


☐ Úhel průhybu

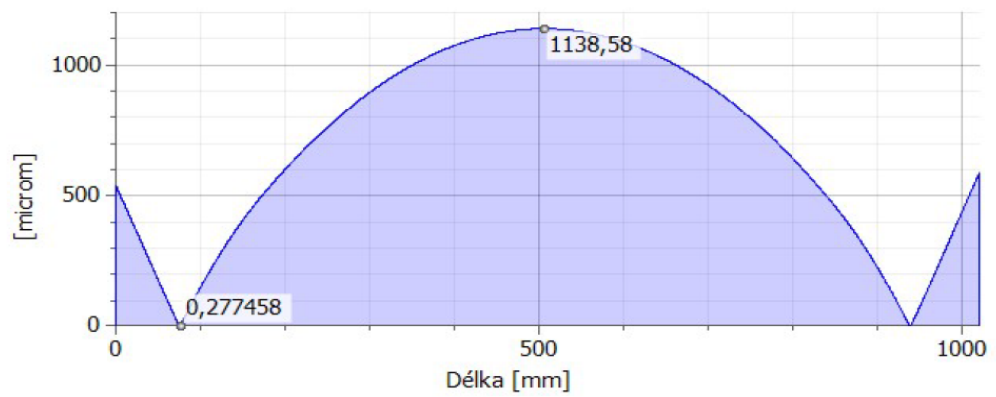




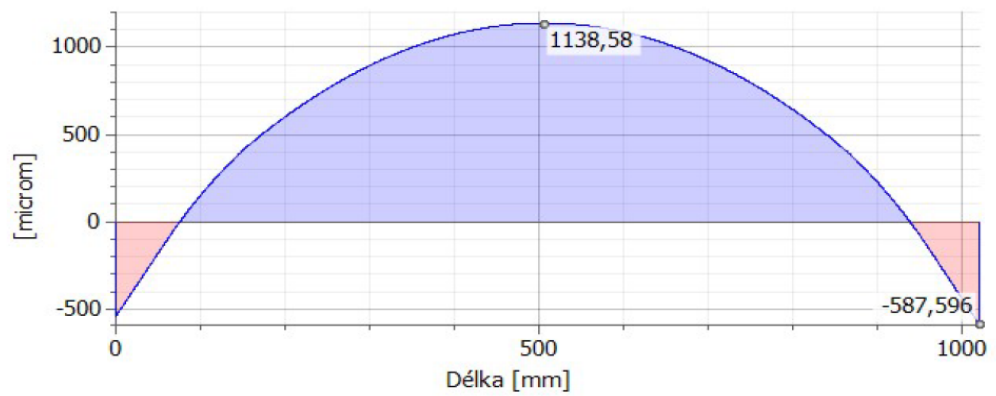
☐ Úhel průhybu, Rovina XZ



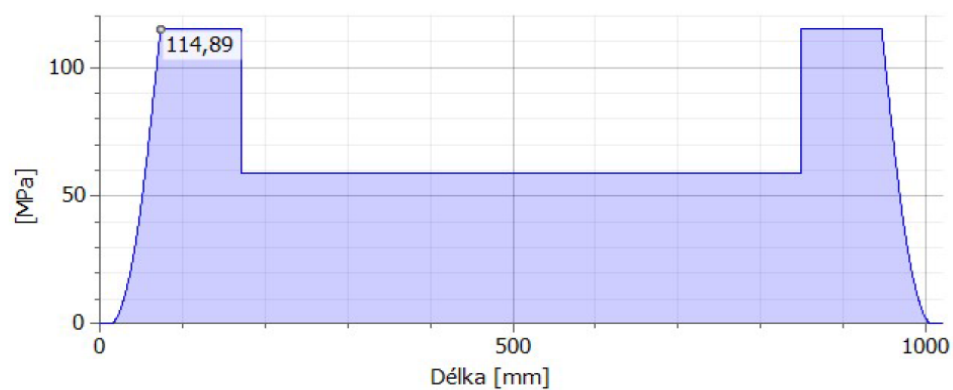
☐ Průhyb



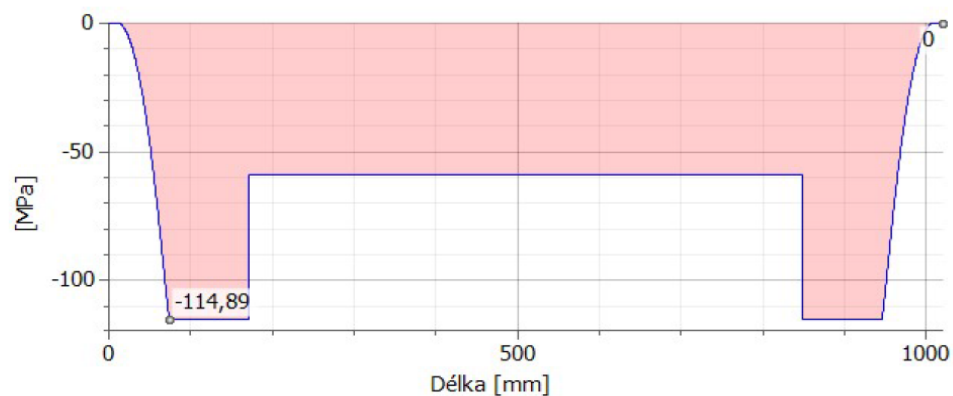
☐ Průhyb, Rovina YZ



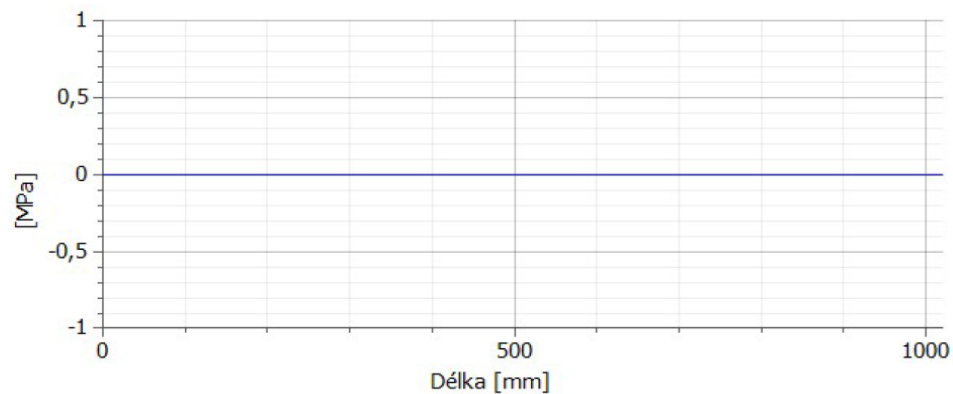
☐ Napětí v ohybu



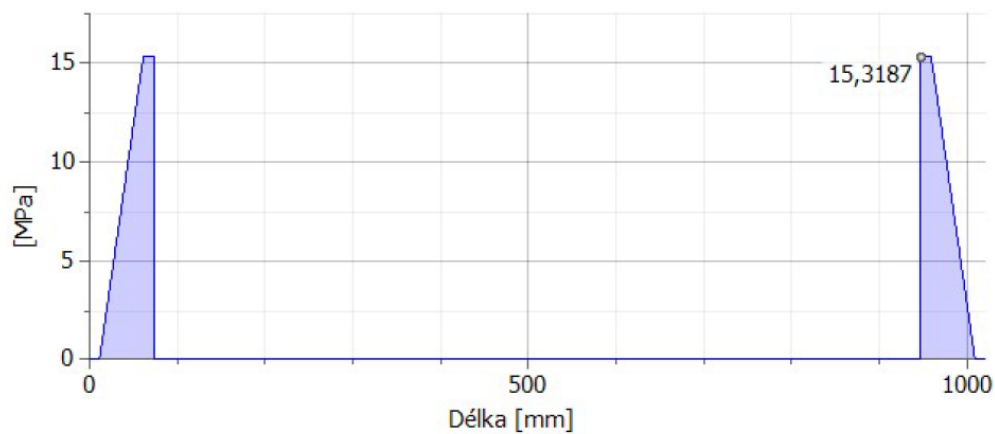
☐ Napětí v ohybu, Rovina YZ



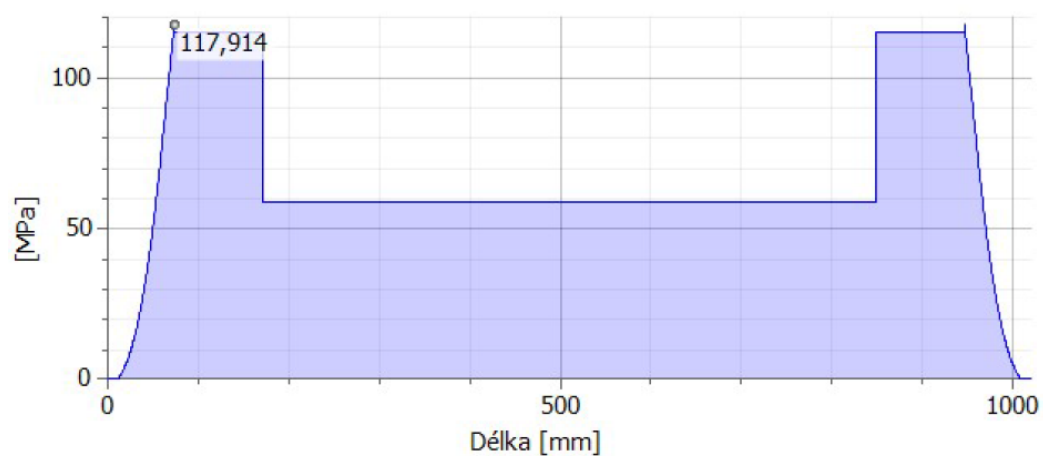
☐ Napětí v ohybu, Rovina XZ



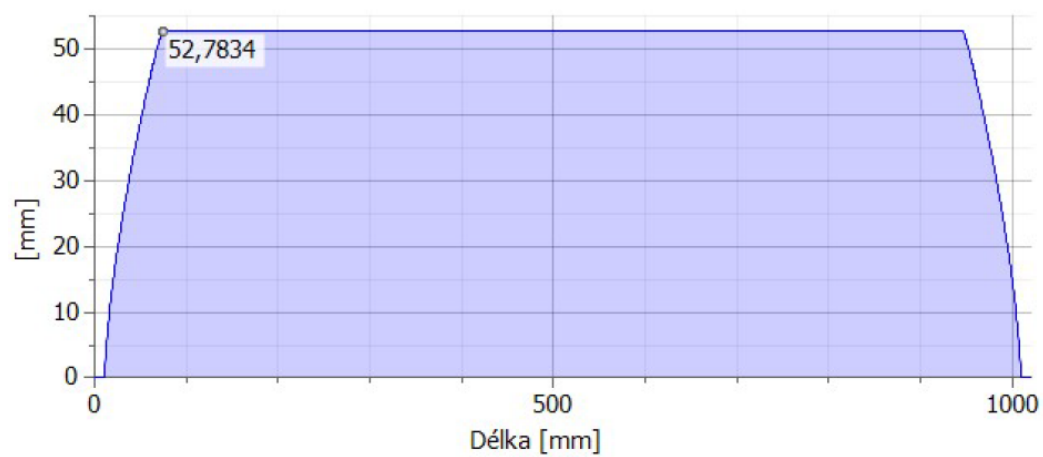
☐ Smykové napětí



☐ Redukované napětí



☐ Ideální průměr



☐ Souhrn hlášení

21:31:59 Výpočet: Vypočteno.

## Příloha C

Mezní úchytky délek dodávaných výrobcem

Rozměry v milimetrech

Druh délky <sup>a)</sup>	Rozsah délky nebo délka L	Úchylka
Výrobní délka	4.000 < L ≤ 16.000 v rozsahu po 2.000 podle objednávky	10% profilů může být dodáno pod minimální délkou objednaného rozsahu, ale nesmí být kratší než 75% nejmenší délky
Přibližná délka	≥ 4.000	+50 mm 0
Přesná délka <sup>b)</sup>	< 6.000	+ 5 mm 0
	6.000 ≤ L ≤ 10.000	+ 15 mm 0
	> 10.000	+ 5 mm + 1 mm/m 0
<sup>a)</sup> Výrobce musí při objednávce stanovit druh požadované délky a rozsah délky nebo požadované délky		
<sup>b)</sup> Bežně dostupné délky jsou 6m a 12m		

Úchytky tvaru a hmotnosti

Vlastnosti	Duté profily kruhového průřezu	Duté profily čtvercového a obdélníkového průřezu	
Vnější rozměry ( D, B a H )	± 1%, nejméně ± 0,5 mm a nejvýše ± 10mm	Délka strany v mm	Úchylka
		H, B < 100 100 ≤ H, B ≤ 200 H, B > 200	± 1% nejméně ±0,5 mm ±0,8 % ±0,6%
Tloušťka ( T )	pro D ≤ 406,4 mm: T ≤ 5 mm ± 10 % T > 5 mm ± 0,5 mm pro D > 406,4 : ± 10 %, nejvýše ± 2 mm	T ≤ 5 mm ± 10 % T > 5 mm ± 0,5 mm	
Ovalita ( O )	2% pro duté profily s poměrem průměru k tloušťce stěny nejvýše 100 <sup>a)</sup>	-	
Vypuklost / vydutost ( x <sub>1</sub> , x <sub>2</sub> ) <sup>b)</sup>	-	nejvýše 0,8%, nejméně 0,5 mm	
Kolmost stran ( Ø )	-	90° ± 1°	
vnější tvar zaoblení ( C1, C2 nebo R )		Viz tabulka 3	
Zkroucení ( V )		2 mm plus 0,5mm/m délky	
Přímost ( e )	0,20 % celkové délky a 3 mm na jakýkoliv 1 m délky	0,15 % celkové délky a 3 mm na jakýkoliv 1 m délky	
Hmotnost na jednotku délky ( M )	± 6 % jednotlivé délky profilu		

<sup>a)</sup> při poměru průměru k tloušťce stěny nad 100, se musí ovalita dohodnout.

<sup>b)</sup> úchytky vydutosti a vypuklosti nezávisí na mezních úchytkách vnějších rozměrů

Úchytky tvaru vnějšího zaoblení

Rozměry v milimetrech

Tloušťka T	Tvar vnějšího zaoblení C1, C2 nebo R <sup>a)</sup>
T ≤ 6	1,6 T až 2,4 T
6 < T ≤ 10	2,0 T až 3,0 T
10 < T	24,7 až 3,6 T
<sup>a)</sup> Strany nemusí být tečnami k oblouku zaoblení	

**Duté profily z nelegovaných konstrukčních ocelí - Chemické složení a mechanické vlastnosti**

**Tabulka A1. - Chemické složení - Rozbor tavby pro výrobky s tloušťkou stěny ≤ 40 mm**

Označování oceli		Způsob dezoxidace <sup>a)</sup>	Hmotnostní podíl v % max.					
Značka	Číselné označení		C	Si	Mn	P	S	N <sup>b)</sup>
S235JRH	1.0039	FF	0,17	-	1,40	0,040	0,040	0,009
S275J0H	1.0149	FF	0,20	-	1,50	0,035	0,035	0,009
S275J2H	1.0138	FF	0,20	-	1,50	0,030	0,030	-
S355J0H	1.0547	FF	0,22	0,55	1,60	0,035	0,035	0,009
S355J2H	1.0576	FF	0,22	0,55	1,60	0,030	0,030	-
S355K2H	1.0512	FF	0,22	0,55	1,60	0,030	0,030	-

<sup>a)</sup> způsob dezoxidace je označen následovně:

FF: plně uhlídněná ocel s dostatečným množstvím prvků, které vážou dusík (např. min. 0,020 % celkového AL nebo 0,015% rozpustného Al).

<sup>b)</sup> Maximální hodnota pro obsah dusíku neplatí, pokud ocel obsahuje celkový podíl Al minimálně 0,020% při minimálním podílu Al/N 2:1, nebo pokud jsou přítomny jiné dostatečné prvky, které vážou N. Obsah prvků, které vážou N musí být uveden v dokumentu kontroly.

**Tabulka A2. - Maximální hodnota uhlíkového ekvivalentu podle rozboru tavby<sup>a)</sup>**

Označování oceli		Maximální hodnota CEV pro jmenovité tloušťky ≤ 40 mm %
Značka	Číselné označení	
S235JRH	1.0039	0,35
S275J0H	1.0149	0,40
S275J2H	1.0138	0,40
S355J0H	1.0547	0,45
S355J2H	1.0576	0,45
S355K2H	1.0512	0,45

<sup>a)</sup> Viz 6.6.2, volitelný požadavek 1.2

**Tabulka A3. - Mechanické vlastnosti dutých profilů z nelegovaných ocelí**

Označování oceli		Minimální mez kluzu $R_{eH}$ Mpa		Pevnost v tahu $R_m$ Mpa		Tažnost A <sup>d)</sup> %	Minimální hodnota nárazové práce KV <sup>e)</sup> J		
		Jmenovitá tloušťka mm		Jmenovitá tloušťka mm		Jmenovitá tloušťka mm	Při zkušební teplotě		
Značka	Číselné označení	≤ 16	> 16 ≤ 40	< 3	≥ 3 ≤ 40	≤ 40	-20 °C	0 °C	20 °C
S235JRH <sup>f)</sup>	1.0039	235	225	360 - 510	360 - 510	24 <sup>b)</sup>	-	-	27
S275J0H <sup>f)</sup>	1.0149	275	265	430 - 580	410 - 560	20 <sup>c)</sup>	-	27	-
S275J2H	1.0138						27	27	-
S355J0H <sup>f)</sup>	1.0547	355	345	510 - 680	470 - 630	20 <sup>c)</sup>	-	27	-
S355J2H	1.0576						27	-	-
S355K2H	1.0512						40 <sup>f)</sup>	-	-

<sup>a)</sup> Vlastnosti nárazové práce jsou ověřovány pouze pokud je specifikován Volitelný požadavek 1.3.

<sup>b)</sup> Pro tloušťky > 3 mm a velikosti profilu D/T < 15 (kruhový průřez) a (B+H)/2T < 12,5 (čtvercový a obdélníkový průřez) je minimální tažnost snížena o 2. Pro tloušťky ≤ 3 mm je minimální hodnota tažnosti 17%.

<sup>c)</sup> Pro velikost profilů D/t < 15 (kruhový průřez) a (B+H)/2T < 12,5 (čtvercový a obdélníkový průřez) je minimální tažnost snížena o 2.

<sup>d)</sup> Pro tloušťky < 3mm viz. 9.2.2.

<sup>e)</sup> Pro vlastnosti nárazové práce pro zkušební tělesa se zeslabenou částí viz 6.7.2.

<sup>f)</sup> Tato hodnota odpovídá 27J při -30°C (viz EN 1993-1-1)

## Příloha D

Přehled vlastností oceli C45E ( C45 R )										1.1191 (1.1201)									
Druh oceli	Nelegovaná ušlechtilá ocel k zušlechťování																		
TDP	ČSN EN 10083-2: 2007. Tato norma obsahuje též ocel C45, klasifikovanou jako jakostní ocel k zušlechťování. Oceli C45 nelze nahradit ušlechtilé oceli C45E popř. C45R. C45 však lze nahradit ocelmi C45E resp. C45R.																		
Drívější označení	C45E (C45R) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; Ck 45 ( Cm 45 ) podle DIN 17200; 12 050 podle ČSN.																		
Použití	Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechťeném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná i k povrchovému kalení plamenem nebo indukci.																		
Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )	C	Si max.	Mn	P max.	S max. <sup>1)</sup>	Cr max.	Mo max.	Ni max.	Cr+Mo+Ni										
	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,030	0,035	0,40	0,10	0,40	max. 0,63										
Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>	0,40-0,52	0,43	0,46-0,84	0,035	0,040	0,45	0,13	0,45											
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup>	Průměr mm	R <sub>e</sub> min. MPa		R <sub>m</sub> MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J									
	d ≤ 16	490		700-850		14		35		-									
	16 < d ≤ 40	430		650-800		16		40		25									
	40 < d ≤ 100	370		630-780		17		45		25									
Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném <sup>3)</sup>	d ≤ 16	340		min. 620		14		-		-									
	16 < d ≤ 100	305		580		16		-		-									
	100 < d ≤ 250	275		560		16		-		-									
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost (+S)				Žíháno na měkko (+A)				Povrchové kaleno (tvrdost povrchu)										
	HB max. 255				HB max. 207				HRC min. 55										
Prokalitelnost <sup>4)</sup>	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm																		
	Tvrdost v HRC																		
	+H	Mez	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25	30	
	max	62	61	61	60	57	51	44	37	34	33	32	31	30	-	-	-		
	min	55	51	37	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	-	-	-		

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)

Křivky prokalitelnosti

Technologické vlastnosti							
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C						
Tepelné zpracování	Normalizační žíhání °C	Žíhání na měkko °C	Isotermické žíhání °C	Teplota kalení °C	Kalící prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C
	840 až 880	650 až 700	800 až 950 660 -1 hod.	820 až 860	voda nebo olej	550 až 660	850 ± 5
Obrobitelnost	Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokalitelnosti.) Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při horní hranici při kalení do oleje. Jako kalící prostředí lze použít i syntetické kapaliny-emulze.						
Obrobitelnost	Obrobitelnost triskovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížena vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhání na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel C45R se zvýšeným obsahem S.						
Stříhatelnost	Přichází v úvahu např. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápusťkové kování. Ocel C45 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování v průměru nad 80 mm.						

<sup>1)</sup> obsah síry u oceli C45R je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

<sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

<sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení popř. normalizačním žíhání) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.

R<sub>e</sub> –mez kluzu, R<sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L<sub>0</sub> = 5,65√S<sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

<sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.